



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



ENIO ARRIERO SHINMA

**INFLUÊNCIA DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS NA DRENAGEM
URBANA**

Campo Grande - MS
Agosto de 2023.

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

ENIO ARRIERO SHINMA

INFLUÊNCIA DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS NA DRENAGEM URBANA

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, área de concentração: *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Tarso Sanches de Oliveira

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Tarso Sanches de Oliveira
Presidente

Prof. Dr. Robert Schiaveto de Souza
(FAENG/UFMS)

Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas
(UNICAMP)

Prof. Dr. José Marcato Junior
(FAENG/UFMS)

Prof. Dr. José Góes Vasconcelos Neto
(Auburn University, USA)

Campo Grande - MS
Agosto de 2023.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Bruna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me permitir viver a jornada da vida.

Agradeço à minha esposa Bruna por ser minha companheira na maravilhosa jornada da vida.

Agradeço aos meus filhos, Yasmin e Enrico, por me permitirem ser pai.

Agradeço aos meus pais, Januário e Alice, por me permitirem ser filho.

Agradeço aos meus irmãos, Renê e Taís, por me permitirem ser irmão, tio e padrinho.

Agradeço à minha sogra Maria (*in memoriam*) por incontáveis momentos felizes, igualmente ao meu sogro Ovídio.

Agradeço à minha cunhada Fernanda pelo carinho e segurança, igualmente ao meu cunhado Antônio.

Agradeço a todos os amigos que compartilham minha jornada da vida.

Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, instituição que me acolheu e faz parte da minha vida desde 1997.

Este trabalho representa uma parte importante da minha história, eu desisti e retomei mais de uma vez... A todos que me apoiaram, meu muito obrigado.

ACKNOWLEDGMENTS

I write these acknowledgments on the eve of submitting my thesis...

I thank God for allowing me to live the journey of life.

I thank my wife, Bruna, for being my companion on the wonderful journey of life.

I thank my children, Yasmin and Enrico, for allowing me to be a father.

I thank my parents, Januário and Alice, for allowing me to be a son.

I thank my siblings, Renê and Taís, for allowing me to be a brother, uncle, and godfather.

I thank my mother-in-law, Maria (in memoriam), for countless happy moments, and father-in-law, Ovídio.

I thank my sister-in-law, Fernanda, for her care and support, and my brother-in-law, Antônio.

I thank all the friends who share my journey of life.

I would like to thank the Federal University of Mato Grosso do Sul – UFMS, the institution that welcomed me and has been part of my life since 1997.

This study represents an essential part of my journey. I gave up and resumed it more than once... To everyone who supported me, thank you very much.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo aprofundar a compreensão dos efeitos do uso de volumes de armazenamento da captação pluvial em telhados (CPT), focado na economia de água potável, para o amortecimento do escoamento superficial e mitigação de problemas na drenagem urbana.

Essa necessidade investigativa surgiu diante do crescimento evidente da infraestrutura urbana que, ao longo dos anos, tem dado prioridade à adoção de pavimentos impermeáveis e ao aumento da capacidade de escoamento da macrodrenagem. Esse panorama tem ocasionado o aumento dos picos de vazão e o incremento dos volumes escoados superficialmente. Como decorrência dessas intervenções, as áreas urbanas têm sofrido diversos prejuízos associados aos impactos das inundações.

Atrelada às implicações relacionadas à drenagem, as áreas urbanas enfrentam também complexidades na sustentação do fornecimento de água potável, incluindo desafios de quantidade, qualidade e distância entre os locais de captação e consumo. Assim, é incongruente observar a existência de excesso de escoamento pluvial resultando em danos, ao passo que há uma carência de água para atender às necessidades da população. Desse modo, é razoável concluir que ambos os problemas poderiam ser amenizados por meio da adoção de sistemas de captação e armazenamento de água pluvial.

Comumente, os estudos que abordam a CPT, trabalham em micro escala, detalhando efeitos de amortecimento de vazão em prédios ou pequenas áreas e, após suas conclusões, sugerem uma redução na descarga final de sistemas de macrodrenagem urbana. Essa inferência decorre da diminuição do volume escoado na unidade predial analisada, desconsiderando efeitos conhecidos em hidrologia, tais como, o amortecimento de pico de vazão e volumes escoados, bem como efeitos de sincronização ou dessincronização de hidrogramas ao longo da macrodrenagem.

Portanto, existe uma lacuna a ser completada por meio de estudos sobre avaliação de efeitos da CPT, tanto na economia de água potável, quanto no escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanas.

Diante disso, essa tese analisa os efeitos da CPT no amortecimento do escoamento da macrodrenagem, considerando os volumes de armazenamento necessários para economia de água potável.

No primeiro capítulo desta tese foram comparados os potenciais de economia de água potável a partir de duas metodologias de quantificação de áreas de telhado, uma estatística e outra utilizando inteligência artificial.

No segundo capítulo, analisou-se o efeito da discretização espacial no PEAP. E, no terceiro, foram explanadas correlações entre captação, consumo, população e áreas de telhado, para mensuração de volumes de armazenamento necessários para se atingir tal potencial.

Subsequente à essas análises, no capítulo quatro foi utilizada modelagem hidrológica-hidráulica para determinar os limites de influência da CPT, em equivalência de consumo de água potável, no amortecimento de picos e volumes escoados na macrodrenagem urbana e, por fim, no capítulo cinco foi analisada a influência dos volumes necessários para se atingir o PEAP pela CPT, como alternativa de amortecimento do escoamento superficial na macrodrenagem urbana.

Palavras-chave: captação pluvial em telhados; armazenamento de água de chuva; economia de água potável; drenagem urbana; inundações; desenvolvimento de baixo impacto; escoamento superficial; *storm water management model* (SWMM).

ABSTRACT

This study aimed to assess the effects of rooftop rainwater harvesting storage volumes, focused on conserving potable water, as a strategy for attenuating surface runoff and mitigating drainage issues in urban areas. This investigative necessity emerged in light of the evident growth of urban infrastructure, which over the years has prioritized the adoption of impermeable pavements and the expansion of macrodrainage capacity. This scenario has resulted in heightened peak flows and escalated volumes of surface runoff. As a consequence of these interventions, urban areas have incurred various damages associated with the impacts of floods.

Coupled with drainage-related implications, urban areas also face complexities in sustaining water supply, including challenges related to quantity, quality, and the distance between capture and consumption sites. Thus, it is incongruous to observe an excess of rainwater runoff causing damage, while simultaneously experiencing a scarcity of water to meet the population's needs. Accordingly, it is reasonable to conclude that both these problems could be alleviated through the adoption of rainwater harvesting and storage systems.

Studies addressing rooftop rainwater harvesting often operate on a micro scale, detailing flow attenuation effects in buildings or small areas. Following their primary conclusions, they often suggest reducing the final discharge of urban macro drainage systems. This inference stems from the decrease in runoff volume in the analyzed property unit, disregarding well-known hydrological effects such as peak flow attenuation and volume reduction, as well as synchronization or desynchronization effects along the macro drainage network.

Therefore, there is a gap to be filled through studies on the assessment of the effects of rooftop rainwater harvesting, both in terms of potable water savings and surface runoff in urban watersheds.

Given this context, this thesis scrutinizes the effects of rooftop rainwater harvesting in attenuating macrodrainage runoff, considering the necessary storage volumes for potable water conservation.

In the first chapter of this work, the potentials for potable water conservation were compared using two methodologies for quantifying roof areas, one statistical and the other employing artificial intelligence.

In the second chapter, the effect of spatial discretization on the potential for potable water conservation was analyzed. The third chapter elucidated correlations between harvesting, consumption, population, and roof areas, for the measurement of necessary storage volumes to attain such potential.

Following these analyses, in chapter four, hydrological-hydraulic modeling was used to determine the limits of influence of rooftop rainwater harvesting, in terms of potable water consumption equivalence, on peak flow and volume attenuation in urban macro drainage. Lastly, in chapter five, the influence of the volumes required to achieve the potential potable water savings through rooftop rainwater harvesting was analyzed as an alternative for attenuating surface runoff in urban macro drainage.

Keywords: rooftop catchment; rainwater harvesting; potable water savings; urban drainage; floods; low impact development; surface runoff; storm water management (SWMM).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Prosa	22
Figura 2 – Fluxograma do estudo	23
Figura 3 – Delimitação da Área de Estudo, suas Sub-Bacias e uso do solo para o ano de 2016.	28
Figura 4 - Exemplo de resultado da aplicação da mensuração de telhado em uma quadra.....	30
Figura 5 – Precipitação e temperatura médias mensais em Campo Grande/MS.	32
Figura 6 – Coeficientes de variação mensal de consumo em Campo Grande-MS.....	32
Figura 7 – Consumo médio mensal de água potável na área de estudo	33
Figura 8 – Relação entre consumo e captação de água em telhados	38
Figura 9 – Balanço mensal entre captação e consumo.....	39
Figura 10 – Fluxograma do estudo	43
Figura 11 – Correlação entre população e área de telhado, para a D1	46
Figura 12 - Correlação entre população e área de telhado, para a D2	48
Figura 13 – Potencial de economia por sub bacia e por discretização	53
Figura 14 – Fluxograma de determinação dos volumes de armazenamento	57
Figura 15 – Relação entre consumo e captação de água em telhados	59
Figura 16 – Volume captável e consumo médio anual	59
Figura 17 – Balanço anual por sub-bacia	60
Figura 18 - Balanço mensal por sub-bacia	61
Figura 19 - Correlação entre área de telhado por pessoa e balanço médio anual	62
Figura 20 – Correlações de déficits e sobras com área de telhado por pessoa	63
Figura 21 - Volumes de armazenamento para máximo potencial de economia de água potável	65
Figura 22 - Volumes de armazenamento por pessoa, para máximo potencial de economia de água potável	65
Figura 23 - Volumes de armazenamento por área de telhado, para máximo potencial de economia de água potável.....	66
Figura 24 – Curva de máximo volume de armazenamento versus população	67
Figura 25 - Curva de máximo volume de armazenamento versus área de telhado.....	67
Figura 26 – Esquema da captação e armazenamento pluvial simulado	74
Figura 27 – Esquema de propagação dos efeitos das cisternas nos hidrogramas	75
Figura 28 – Fluxograma das simulações	75
Figura 29 – Exemplos de topobatimetria de seções utilizadas neste estudo	77
Figura 30 – Interação do calibrador com o SWMM.....	78
Figura 31 - Vazões simuladas e observadas no exutório da Bacia do Prosa para dois eventos de calibração (17/04/2015 e 27/05/2015) e três eventos de validação (08/01/2016, 15/02/2016 e 14/03/2016).....	81
Figura 32 – Hietogramas de chuvas de projeto, por período de retorno (Tr).....	83
Figura 33 – Hidrogramas resultantes das chuvas de projeto, no exutório da Bacia do Prosa	84
Figura 34 – Pontos de Volume Final de Amortecimento (VFA) para Pico de vazão (P) - (VFA-P), por período de retorno (Tr) em anos.....	87
Figura 35 – Picos de vazão e respectivos volumes de LID nos VFA-P, por período de retorno.....	88
Figura 36 – Redução dos picos de vazão nos VFA-P	88
Figura 37 - Pontos de Volume final de amortecimento (VFA) para Volume (V) escoado - (VFA-V), por período de retorno (Tr) em anos.....	90
Figura 38 - Volumes de LID nos VFA-V e respectivos volumes escoados por período de retorno.....	92
Figura 39 - Redução dos volumes escoados nos VFA-V.....	92
Figura 40 – Fluxograma das etapas do estudo	98

Figura 41 – Comparações entre hidrogramas resultantes no exutório da bacia do Prosa, sob a influência do uso de volumes de amortecimento (*LID*) em telhados, por período de retorno (*Tr*)....101

Figura 42 – Redução do pico de vazão sob a influência dos amortecimentos (*LIDs*) em telhados102

Figura 43 - Redução dos volumes escoados sob a influência dos amortecimentos (*LIDs*) em telhados103

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Áreas, por categoria de uso do solo, em hectares	27
Tabela 2 – Dados de atendimento por água potável em Campo Grande-MS	29
Tabela 3 - Área de telhado e população (Estimativa Estatística)	29
Tabela 4 – Área de telhado e população (PWDL)	30
Tabela 5 – Análise dos dados de precipitação obtidos para o município de Campo Grande/MS.	31
Tabela 6 - Potencial mensal de economia de água potável na área de estudo (por Estimativa Estatística).....	34
Tabela 7 – Potencial de economia de água potável na área de estudo por PWDL	35
Tabela 8 – Comparação dos resultados do potencial de economia de água para outras localidades no Brasil.	37
Tabela 9 – Área de telhado e população para a D0	45
Tabela 10 – Áreas de telhado e população, por sub-bacias, para a D1	46
Tabela 11 - Áreas de telhado e população, por sub-bacias, para a D2	47
Tabela 12 – Potencial de economia de água potável anual, por sub-bacia com D0	49
Tabela 13 - Potencial de economia de água potável por sub-bacia com D1	50
Tabela 14 - Potencial de economia de água potável anual, por sub-bacia com D2.....	52
Tabela 15 – Potencial de economia por discretização e por sub-bacia	53
Tabela 16 – Resultados da calibração e validação por evento de chuva	82
Tabela 17 – Picos de vazão e volume escoado das chuvas de projeto, no exutório da Bacia do Prosa	84
Tabela 18 – Volumes unitários de amortecimento aplicados em cada sub-bacia	85
Tabela 19 – Resumo dos efeitos dos amortecimentos (LID) nos picos de vazão, para VFA-P, por período de retorno (Tr)	86
Tabela 20 – Potencial de mitigação de picos de vazão, com equivalência entre períodos de retorno.	89
Tabela 21 - Resumo dos efeitos dos amortecimentos (LID) nos volumes escoados, para VFA-V, por período de retorno (Tr)	91
Tabela 22 - Potencial de mitigação de volumes escoados, com equivalência entre períodos de retorno	93
Tabela 23 – Volumes de armazenamento utilizados como amortecimento, e suas relações com a população e área de telhado.....	100
Tabela 24 – Redução dos picos de vazão sob a influência dos amortecimentos (LIDs) em telhados .	102
Tabela 25 - Redução dos volumes escoados sob a influência dos amortecimentos (LIDs) em telhados	103
Tabela 26 - Volume mensal de água consumida e K, em Campo Grande-MS período de 2006 a 2015 (x1.000 m ³).....	112
Tabela 27 - Volume Médio Mensal Aproveitável (m ³).....	113
Tabela 28 - Consumo Médio Mensal (m ³)	114
Tabela 29 - Balanço Mensal por sub-bacia	115
Tabela 30 – Parâmetros resultantes do processo de calibração do modelo, usados nas simulações das sub-bacias	116

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	16
OBJETIVO GERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
CAPÍTULO 1	20
1 PERSPECTIVAS NO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL POR MEIO DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS USANDO <i>PIXEL-WISE DEEP LEARNING</i>	20
1.1 RESUMO	20
1.2 INTRODUÇÃO	21
1.3 METODOLOGIA.....	22
1.3.1 Bacia hidrográfica de estudo	22
1.3.2 Delineamento do estudo	23
1.3.3 População e número de domicílios atendidos com abastecimento de água	23
1.3.4 Mensuração das áreas de telhado por Estimativa Estatística (EE)	24
1.3.5 Mensuração das áreas de telhado com <i>Pixel – Wise Deep Learning</i> (PWDL).....	24
1.3.6 Volume de água pluvial aproveitável.....	25
1.3.7 Consumo de água potável	26
1.3.8 Potencial de economia de água potável (PEAP)	27
1.3.9 Balanço mensal dos volumes de captação e consumo	27
1.4 RESULTADOS	27
1.4.1 Caracterização da área de estudo.....	27
1.4.2 População atendida com abastecimento de água	28
1.4.3 Áreas de telhado por Estimativa Estatística (EE)	29
1.4.4 Áreas de telhado por <i>Pixel – Wise Deep Learning</i> (PWDL).....	30
1.4.5 Precipitação	31
1.4.6 Consumo de água potável	32
1.4.7 Potencial de economia de água potável por EE.....	33
1.4.8 Potencial de economia de água potável por PWDL	35
1.4.9 Comparações entre PEAP com EE e PWDL	35
1.4.10 Análise do balanço mensal dos volumes de captação e consumo	38
1.5 CONCLUSÕES.....	39
CAPÍTULO 2	41
2 A INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL NO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL ATRAVÉS DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS	41
2.1 RESUMO	41
2.2 INTRODUÇÃO	42

2.3	METODOLOGIA.....	43
2.3.1	Delineamento do estudo	43
2.3.2	Discretização zero (D0)	43
2.3.3	Discretização um (D1).....	44
2.3.4	Discretização dois (D2)	44
2.3.5	Demais metodologias	44
2.4	RESULTADOS	45
2.4.1	Áreas de telhado e população para Discretização zero (D0).....	45
2.4.2	Áreas de telhado e população para Discretização um (D1)	45
2.4.3	Áreas de telhado e população para Discretização dois (D2)	47
2.4.4	Potencial de economia de água potável (D0)	48
2.4.5	Potencial de economia de água potável (D1)	49
2.4.6	Potencial de economia de água potável (D2)	50
2.4.7	Análise comparativa entre discretizações espaciais	52
2.5	CONCLUSÕES.....	54
CAÍTULO 3		55
3	DEFINIÇÃO DE VOLUMES DE ARMAZENAMENTO PARA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS VISANDO O POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL	55
3.1	RESUMO	55
3.2	INTRODUÇÃO	56
3.3	METODOLOGIA.....	56
3.3.1	Delineamento do estudo	56
3.3.2	Máximo potencial de economia de água potável e escala espacial	57
3.3.3	Metodologias de dimensionamento de volumes de armazenamento	57
3.3.4	Demais metodologias	58
3.4	RESULTADOS	58
3.4.1	Balanço de volumes.....	58
3.4.2	Ponto de Equilíbrio entre Captação e Consumo (PECC).....	61
3.4.3	Volumes de armazenamento.....	63
3.5	CONCLUSÕES.....	67
CAPÍTULO 4		69
4	INFLUÊNCIA DE VOLUMES DE ARMAZENAMENTO DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS NA DRENAGEM URBANA	69
4.1	RESUMO	69
4.2	INTRODUÇÃO	71
4.3	METODOLOGIA.....	73

4.3.1	Delineamento do estudo	73
4.3.2	Modelagem hidrológica	76
4.3.3	Calibração e Avaliação do Modelo.....	78
4.3.4	Chuvas de Projeto.....	79
4.3.5	Volumes de amortecimento	80
4.3.6	Demais metodologias	80
4.4	RESULTADOS	80
4.4.1	Desempenho do modelo	80
4.4.2	Análise das chuvas de projeto	82
4.4.3	Quantificação dos volumes de amortecimento	84
4.4.4	Capacidade de mitigação dos picos de vazão	85
4.4.5	Capacidade de mitigação dos volumes escoados	89
4.5	CONCLUSÕES.....	93
CAPÍTULO 5		95
5 MITIGAÇÃO DE PROBLEMAS NA MACRODRENAGEM URBANA ATRAVÉS DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS COM ÊNFASE NA ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL.....		95
5.1	RESUMO	95
5.2	INTRODUÇÃO	97
5.3	METODOLOGIA.....	97
5.3.1	Delineamento do estudo	97
5.3.2	Modelagem Hidrológica	98
5.3.3	Calibração e Avaliação do Modelo.....	98
5.3.4	Análise das chuvas de projeto	98
5.3.5	Captação pluvial para potencial de economia de água potável.....	98
5.3.6	Demais metodologias	99
5.4	RESULTADOS	99
5.4.1	Volumes de amortecimento com foco na captação pluvial para potencial de economia de água potável.....	99
5.4.2	Influência da captação pluvial em telhados, com foco na economia de água, no escoamento superficial	100
5.5	CONCLUSÕES.....	104
CONCLUSÕES GERAIS		105
REFERÊNCIAS.....		107
ANEXOS.....		111

INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo de anos, o desenvolvimento da infraestrutura urbana priorizou a adoção de pavimentos impermeáveis, bem como a canalização e a expansão da capacidade da macrodrenagem. Esse cenário culminou no aumento dos picos de vazão e dos volumes escoados superficialmente. Como resultado direto dessas intervenções, as áreas urbanas têm enfrentado os impactos negativos associados às inundações.

Dado que a maior parte dos municípios já possui sua infraestrutura consolidada, os custos e a viabilidade técnica relacionados às modificações da permeabilidade do solo ou ao aumento da capacidade da macrodrenagem, constituem obstáculos consideráveis para a adoção de tais medidas. Além dos problemas de drenagem, regiões urbanas enfrentam desafios para manter o abastecimento de água, tais como quantidade, qualidade e a distância entre a captação e o consumo. Assim, é paradoxal constatar que há excesso de escoamento pluvial provocando prejuízos enquanto há falta de água para abastecimento público. Sendo implícito deduzir que, ambos os problemas podem ser reduzidos pela captação e armazenamento da água de chuva apropriados.

De fato, na literatura, é possível identificar uma tendência de trabalhos nos quais, normalmente, as análises que utilizam reservatórios para recepção de água de chuva, seguem dois tipos de objetivos: 1) amortecer o escoamento superficial, comumente com a construção de bacias de retenção, com foco em benefícios na drenagem urbana, como realizado por [Campo Grande \(2008\)](#) ou 2) armazenar a água da chuva para usos futuros, como evidenciado por [Słyś \(2009\)](#), [Zhang et al. \(2010\)](#) e [Hajani e Rahman \(2014\)](#).

Os projetos de infraestrutura que contemplam o uso de bacias de retenção analisam a aplicação de um grande volume de amortecimento, pontualmente localizado na macrodrenagem, para receber uma grande quantidade de água em um curto espaço de tempo, escoando rapidamente esse volume, passados os picos de vazão e volume escoado.

O possível aproveitamento dessa água de bacias de retenção deve superar alguns entraves, a começar pela baixa qualidade da água de primeira descarga, que carrega elevadas cargas de poluentes, conforme quantificado por [Kim et al. \(2007\)](#), o que eleva os custos com o tratamento da água. Outra adversidade consiste no

dispêndio para transportar esse grande volume de água até as estações de tratamento e distribuição, que normalmente estão distantes dos locais das detenções.

Em contrapartida, se considerarmos que, a captação e armazenamento pluvial de telhados pode reduzir o escoamento superficial, e que, de forma descentralizada, pode reduzir os problemas de abastecimento, tanto em quantidade quanto na distância entre a captação e o consumo, esta solução emerge com grande potencial de aplicabilidade.

As pesquisas sobre captação pluvial em telhados (CPT), normalmente se dividem em macro e micro escala, onde a primeira, macro escala, segue com estudos de potencialidade de economia de água potável, como apresentado por [Ghisi et al. \(2006\)](#) e a segunda, micro escala, com avaliações de captação e armazenamento em unidades prediais, que incluem dimensionamento e otimização de volumes de armazenamento ([Ghisi, 2010](#); [Campisano e Modica, 2012](#); [Okoye et al., 2015](#); [Juliana et al., 2017](#); [Maykot e Ghisi, 2020](#)), viabilidade financeira ([Pelak e Porporato, 2016](#)) e análises de incertezas ([Silva e Ghisi, 2016](#)).

Alguns estudos com abordagem de micro escala, sobre aproveitamento da CPT, apresentam deduções que apontam para a redução da descarga final de um sistema de drenagem urbana (macro escala) em função da redução do volume escoado na unidade predial, como realizado por [Zhang et al. \(2012\)](#) e [Kim et al. \(2015\)](#).

Outros trabalhos, contudo, adotam abordagens conjuntas sobre a aplicação de volumes de armazenamento pluvial de telhados, para economia de água potável e redução do escoamento superficial, como apresentado por [Sample et al. \(2013\)](#), [Sample e Liu \(2014\)](#), [Campisano e Modica \(2016\)](#) e [Cahyono \(2022\)](#). Porém, esses estudos também foram realizados de forma pontual, em unidades prediais, para avaliação dos efeitos no local (micro escala).

Diante disso, é importante considerar que, a hipótese da transferência dos efeitos de redução do escoamento em unidades prediais, para a macrodrenagem, deve abranger efeitos conhecidos em hidrologia, tais como o amortecimento de pico de vazão e de volumes escoados, ocasionados pela retenção dos volumes de chuva captados em telhados. Assim como determinar os limites de tais efeitos ao longo da macrodrenagem e entre sub-bacias, decorrências não contempladas nos trabalhos citados anteriormente.

Poucos estudos associam tanto a abordagem de micro quanto macro escala, como, por exemplo, [Huang et al. \(2015\)](#) que objetivaram desenvolver modelo de

otimização de volume e distribuição espacial de reservatórios de armazenamento de chuva, e [Sepehria et al. \(2018\)](#) que analisaram o efeito da captação de água da chuva de diferentes superfícies, no volume de escoamento e na redução do consumo doméstico.

Portanto, existe uma questão lacunar de pesquisa a ser completada por meio de estudos sobre avaliação de efeitos da CPT (micro escala), tanto na economia de água potável, quanto no escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanas (macro escala).

Nesse sentido, esse trabalho buscou contribuir para o aprofundamento da temática em estudo, bem como favorecer a proposição de inovações investigativas sobre a eficácia dos volumes de armazenamento de CPT, com foco na economia de água potável, como medida de remediação de problemas na drenagem urbana.

Para tanto, foi selecionada uma bacia hidrográfica urbana, como área de investigação para conduzir as diversas análises apresentadas ao longo desta tese. A bacia escolhida abrange uma extensão de 24,75 km² e está situada na zona urbana da região do Prosa, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

No primeiro capítulo deste trabalho foram analisados os PEAP pela CPT, comparando duas metodologias de quantificação de área de telhado, uma estatística (Ghisi et al., 2006) e outra utilizando inteligência artificial, com *Pixel – Wise Deep Learning* ([Martins et al., 2021](#) e [Eltner et al., 2021](#)). No capítulo seguinte, o enfoque foi analisar o efeito da discretização espacial no potencial de economia de água potável (PEAP). Já no terceiro capítulo, foram analisadas correlações com os volumes de armazenamento necessários para se atingir esse potencial.

Para as análises dos capítulos quatro e cinco, o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*) da US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) foi utilizado para realizar as simulações na macrodrenagem, onde a bacia de estudo foi dividida em 16 sub bacias, tendo aproximadamente 15 km de extensão de curso d'água urbano, detalhados em 519 seções transversais topobatimétricas.

O quarto capítulo analisa o limite da influência do armazenamento da CPT, em equivalência de volumes de consumo de água potável, como amortecimento descentralizado na drenagem urbana. O último capítulo apresenta o efeito do uso dos volumes de armazenamento pluvial de telhados, necessários para se atingir o PEAP, na macrodrenagem urbana.

OBJETIVO GERAL

Analisar como o armazenamento da captação pluvial em telhados (CPT) afeta o potencial de economia de água potável (PEAP) e o amortecimento do escoamento na macrodrenagem urbana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Avaliar a influência de duas metodologias de mensuração de áreas de telhado, no PEAP pela CPT. Sendo a primeira baseada em estimativas estatísticas e a segunda utilizando inteligência artificial.
- 2 Avaliar como a discretização espacial afeta o PEAP pela CPT.
- 3 Mensurar os volumes de armazenamento necessários, para se atingir o PEAP por CPT, assim como analisar as correlações de déficit e sobra no balanço de volumes entre captação e consumo.
- 4 Determinar o limite de influência da utilização de volumes de armazenamento de CPT, com equivalência de consumo de água potável pela população, no escoamento da macrodrenagem urbana.
- 5 Analisar o potencial de redução do escoamento na macrodrenagem urbana, através da utilização de volumes de armazenamento de CPT, com foco no PEAP.

CAPÍTULO 1

1 PERSPECTIVAS NO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL POR MEIO DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS USANDO *PIXEL-WISE DEEP LEARNING*

1.1 RESUMO

A captação e armazenamento de água de chuva de telhados tem se tornado uma alternativa globalmente adotada devido à crescente demanda por água potável e à gradativa escassez de recursos hídricos. Essa prática oferece benefício ao usuário ao reduzir sua dependência da rede pública de abastecimento de água.

Este estudo concentra-se na exploração da potencialidade de economia de água potável por captação pluvial em telhados (CPT), atuando na lacuna entre estudos de micro e macro escalas. A análise se baseia em duas metodologias de mensuração de áreas de telhado: Estimativa Estatística (EE), representativa de estudos em macro escala, e *Pixel-Wise Deep Learning* (PWDL), caracterizando a abordagem em micro escala, com o uso de inteligência artificial.

Além disso, considera-se a diferença entre as metodologias em relação aos tipos de telhados considerados, unicamente residenciais *versus* a totalidade de tipos. Os resultados indicam que a mensuração por PWDL apresenta um potencial de economia de água substancialmente maior do que a metodologia EE, com um aumento de 56,79% no volume pluvial anualmente aproveitável. A diferença entre as metodologias apontou um potencial de economia de 39,95% para EE e de 92,47% para PWDL, evidenciando a importância da consideração de escalas e metodologias na estimativa do potencial de economia de água potável (PEAP) pela CPT.

Palavras-chave: aproveitamento de água da chuva; economia de água; gestão de águas urbanas; escala urbana.

1.2 INTRODUÇÃO

A prática de coletar e armazenar água de chuva a partir de telhados tem ganhado popularidade ao redor do mundo. Isso se deve à crescente necessidade de água potável e às limitações de acesso a recursos hídricos, principalmente em regiões secas, como apresentado por [Abdulla e Al-Shareef \(2009\)](#). Adicionalmente, esse método pode ser visto como vantajoso ao usuário, uma vez que ele reduz seu consumo da rede pública de abastecimento.

O potencial de economia de água potável (PEAP) pela CPT refere-se à quantidade de água potável que pode ser economizada por meio da coleta e armazenamento da água da chuva que cai sobre os telhados das edificações. Normalmente é apresentado como uma parcela, em porcentagem, do volume consumido por uma dada população, em relação ao volume de chuva captado nos telhados, como evidenciado por Guisi et al. (2006).

Esse potencial é função, sobretudo, do tamanho da área de captação (ou seja, a área de telhado), do regime de chuvas da região, da demanda de água da edificação e da capacidade de armazenamento do sistema de captação.

Os estudos de potencialidade de economia de água potável por CPT se dividem em duas categorias: 1) estudos para unidades prediais que incluem dimensionamento e otimização de volumes de armazenamento, viabilidade financeira e análises de incertezas; 2) estudos de PEAP para áreas urbanas em escala de bacia hidrográfica.

Nas abordagens de áreas urbanas, a dificuldade na mensuração de telhados notadamente aumenta proporcionalmente a área de estudo, assim a maioria dos estudos que analisam captação de água de chuva em grandes escalas, utilizam metodologias que estimam essas áreas, conforme apresentado a diante.

Dessa forma esse capítulo se concentra na relevância da quantificação das áreas de telhado em unidades prediais, para uma análise de efeitos em escala de bacia hidrográfica. Para isso, foi analisada a influência de duas metodologias de mensuração de áreas de telhado no PEAP por CPT. A primeira metodologia é a de Estimativa Estatística (EE) de áreas de telhado, que representa estudos de escala de bacia hidrográfica, e a segunda com o uso de inteligência artificial com *Pixel-Wise Deep Learning* (PWDL) classificado como estudo de unidades prediais.

1.3 METODOLOGIA

1.3.1 Bacia hidrográfica de estudo

Na [Figura 1](#) é apresentada a localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Prosa (BP), localizada na região urbana do município de Campo Grande - MS, Brasil, localizada entre os meridianos 54°38' e 54°31' de longitude oeste e os paralelos 20°30' e 20°24' de latitude sul.

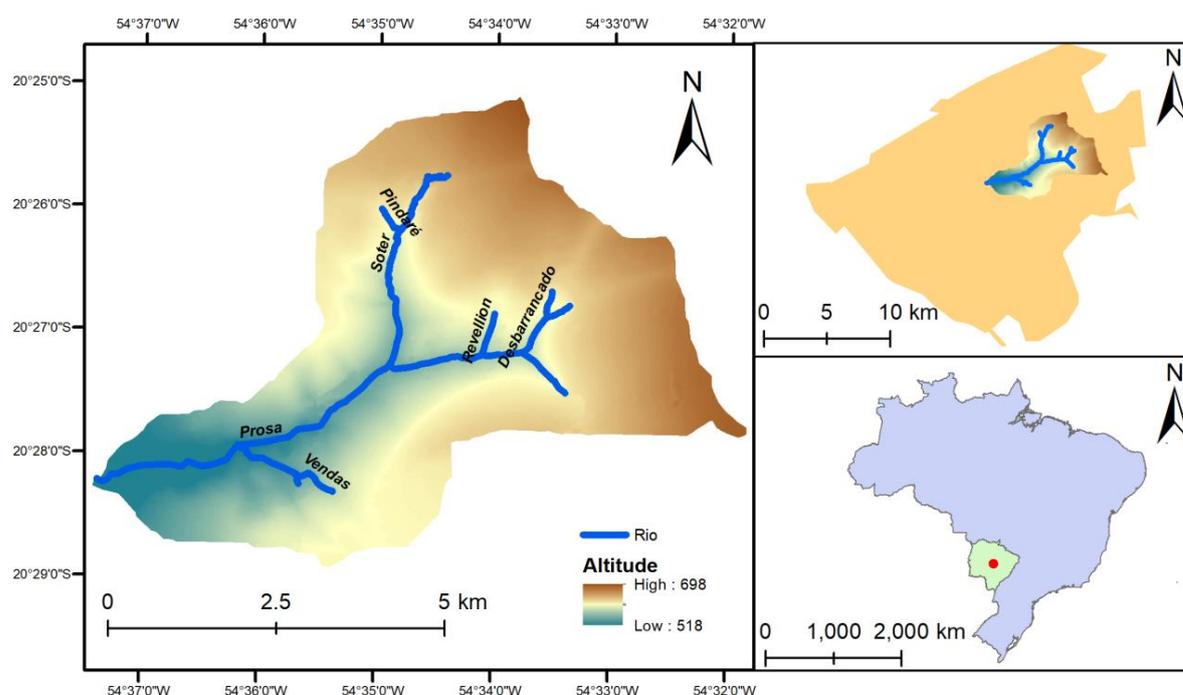


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Prosa

A BP foi escolhida por possuir a maior parte de sua área já urbanizada, por apresentar dados históricos de monitoramento hidrológico e por apresentar recorrência de eventos de inundação (problema a ser abordado no capítulo 5 dessa tese).

A BP apresenta área de aproximadamente 32 km², com declividade variando de 3,8 a 8,0%, sendo drenada pelos Córregos Prosa, Sóter, Desbarrancado, Joaquim Português, Revellion e Vendas (Campo Grande, 2008).

A área de estudo (AE) utilizada nesse trabalho é uma porção da BP, formada pela bacia de contribuição do ponto de monitoramento, com área de 24,75 Km², apresentada a diante, em detalhes.

1.3.2 Delineamento do estudo

Na [Figura 2](#) é apresentado o fluxograma do estudo conduzido neste capítulo. Nele, o PEAP foi determinado pela comparação do volume aproveitável, resultado da captação da precipitação, excluída a primeira descarga para limpeza dos telhados, com o consumo de água demandado pela população.

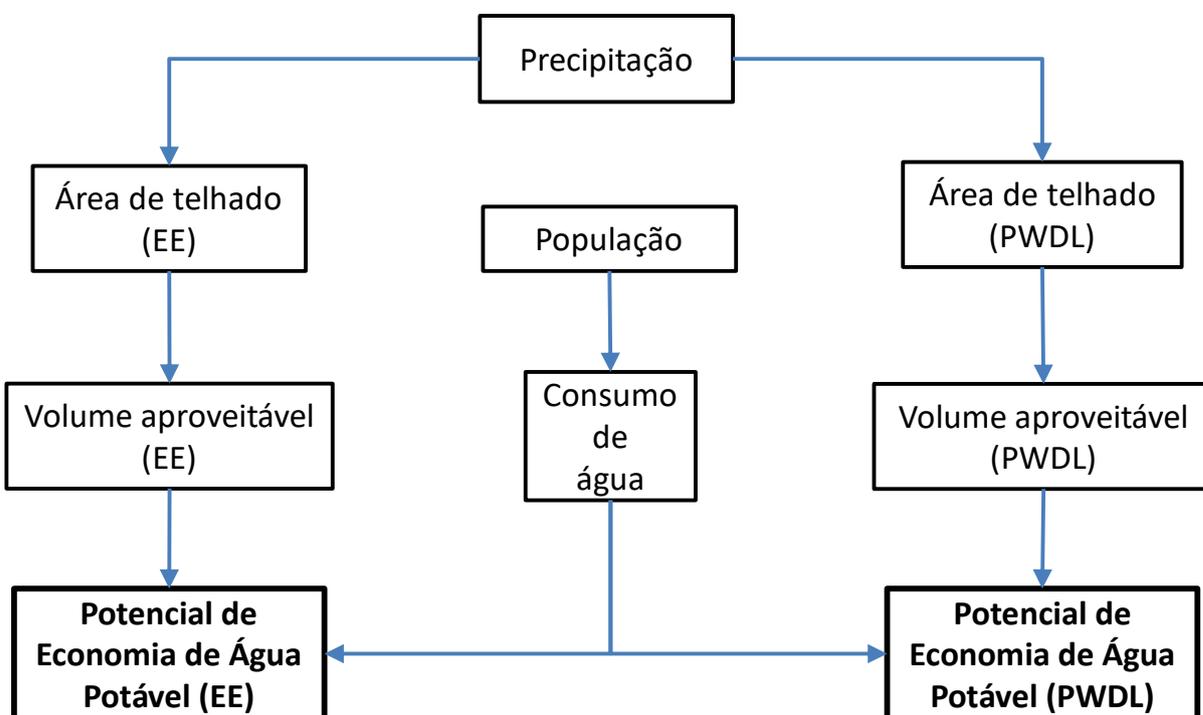


Figura 2 – Fluxograma do estudo

1.3.3 População e número de domicílios atendidos com abastecimento de água

A AE foi dividida em 16 sub-bacias (apresentadas a diante), sendo que a população atendida por abastecimento de água, foi obtida a partir do cruzamento de metadados do Perfil Socioeconômico de Campo Grande ([Planurb, 2017](#)).

Da intersecção geométrica dos dados de densidade populacional dos bairros com as áreas das sub-bacias, obteve-se a população da AE para os anos de 2007 e 2010 e, para se obter a população no ano de 2016 foi utilizada uma projeção populacional linear.

O número de domicílios (N_d), que também pode ser compreendido como número de ligações de atendimento por serviço de abastecimento de água é determinado pela [Equação 1](#), onde P_s é a população (pessoas) da bacia ou sub-bacia; D_p é a densidade populacional para o abastecimento de água (pessoas/ligação).

$$N_d = \frac{P_s}{D_p}$$

Equação 1

1.3.4 Mensuração das áreas de telhado por Estimativa Estatística (EE)

Neste trabalho o que se definiu como Estimativa Estatística (EE) para cálculo da área de telhado foi a metodologia aplicada por Ghisi et al. (2006), que analisou várias regiões do Brasil.

Para se estimar a área média de telhado por ligação, considerou-se 22,4 m²/pessoa para casas e 4,2 m²/pessoa para apartamentos, para a região centro-oeste, conforme Ghisi (2006). Com estes dados e a porcentagem de casas e apartamentos, é possível obter a média ponderada da área de telhado por ligação, conforme [Equação 2](#).

$$A_{tp} = \frac{(H \cdot 22,4) + (F \cdot 4,2)}{100}$$

Equação 2

onde A_{tp} é a área de telhado por pessoa (m²/pessoa), H é a porcentagem de casas e F é a porcentagem de apartamentos.

A área total do telhado (A_{tt}) (m²) pode ser calculada pela [Equação 3](#):

$$A_{tt} = A_{tp} \cdot P_s$$

Equação 3

onde A_{tp} é a área de telhado por pessoa (m²/pessoa) e P_s é a população (pessoas) da bacia ou sub-bacia.

É importante ressaltar que a metodologia de EE considera que a captação é feita em telhados unicamente residenciais (apenas casas e apartamentos), diferentemente da metodologia de PWDL, apresentada a seguir, que engloba todos os tipos de telhados.

1.3.5 Mensuração das áreas de telhado com *Pixel – Wise Deep Learning* (PWDL)

Nesta metodologia, as áreas de telhados foram obtidas com a aplicação de um algoritmo de segmentação semântica baseado em CNN (Rede Neural Convolutacional) em imagens aéreas RGB do ano de 2016, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Campo Grande-MS.

Existem diversos métodos de segmentação semântica baseados em CNN, a se destacar: *Fully Convolutional Network (FCN)*, *U-Net*, *SegNet*, *Dynamic Dilated Convolution Network* e *DeepLabV3+*. Estudos anteriores mostram que esses métodos proporcionam resultados similares em diferentes aplicações. Um desses estudos foi realizado por Martins et al. (2021) em Campo Grande-MS no contexto de mapeamento arbóreo, no qual os métodos apresentaram grande similaridade (diferenças inferiores a 1%). Diante disso, utilizamos a FCN, um dos métodos pioneiros de segmentação semântica, e que tem apresentado resultados acurados (Eltner et al., 2021), como metodologia para a quantificação das áreas de telhados das sub-bacias de estudo.

A área de telhado por unidade de construção, que também pode ser interpretada como área de telhado por ligação de água foi calculada com a [Equação 4](#).

A área de telhado por ligação foi calculada dividindo-se a área de telhado (obtido com PWDL) pela população em cada sub-bacia.

$$A_{tl} = \frac{A_{ts}}{N_d} \quad \text{Equação 4}$$

onde: A_{tl} é a área de telhado por ligação ($m^2/unid.$); A_{ts} é a área de telhado da sub-bacia (m^2); N_d é o número de ligações ou domicílios.

1.3.6 Volume de água pluvial aproveitável

Para quantificar o volume de água pluvial aproveitável, foi considerado como área de captação, toda superfície de telhado, e que toda chuva precipitada nessas áreas de telhado, podem ser coletadas e armazenadas. Assim, o volume de água pluvial aproveitável foi calculado considerando-se os resultados de precipitação média mensal, área de telhado e o coeficiente de aproveitamento, que representa o escoamento superficial do telhado e a eficiência do sistema de descarte da primeira água de lavagem, sendo calculado pela [Equação 5](#).

$$V_a = \frac{p \cdot A_{tt} \cdot Rc}{1000} \quad \text{Equação 5}$$

onde V_a é o volume de chuva que pode ser coletado e aproveitado (m^3), p é a precipitação (mm), A_{tt} é a área total de telhado (m^2). Rc representa o coeficiente de aproveitamento calculado conforme a [Equação 6](#):

$$R_c = C \times \eta_{first\ flush}$$

Equação 6

onde C é o coeficiente de *runoff* (adimensional) e η é o rendimento do dispositivo de descarga de primeira água de lavagem do sistema.

De acordo com Silva e Ghisi (2016), o descarte da primeira água de escoamento do telhado é necessária para descartar sedimentos e sujeiras que podem afetar a qualidade da água pluvial coletada. Assim, o coeficiente de aproveitamento (R_c) (valores entre 0 e 1) indica a fração de água pluvial perdida pelo descarte para a limpeza do telhado e da evaporação.

Assim como utilizado por Silva e Ghisi (2016), o coeficiente de aproveitamento (R_c) utilizado foi de 0,80 representando a quantidade de água pluvial captada e conduzida para o armazenamento, que indica que 20% da água pluvial é perdida pelo descarte para a limpeza do telhado e da evaporação.

1.3.7 Consumo de água potável

O consumo médio mensal de água potável foi obtido multiplicando-se o consumo médio per capita ($q = 159,35$ L/pessoa.dia) obtido em [SNIS \(2022\)](#) pela população em cada sub-bacia ([Equação 7](#)). E, para representar a variação mensal do consumo, utilizamos um coeficiente adimensional (K), que representa a variação de consumo no mês, em relação à média de consumo. Para tanto, assumiu-se que a variação mensal no consumo do município é a mesma na área de estudo.

$$V = \frac{q \cdot P \cdot d \cdot K}{1000}$$

Equação 7

onde V é o volume mensal consumido ($m^3/mês$), q é o consumo médio per capita (L/pessoa.dia), P é a população da bacia (pessoas), d é a quantidade de dias no mês e K (adimensional) é a variação média mensal do consumo no município.

Os valores mensais de K foram obtidos com a [Equação 8](#), dividindo-se o valor de consumo médio anual pelo consumo médio de cada mês.

$$K = \frac{M_a}{M_m}$$

Equação 8

onde K é o coeficiente de variação mensal de consumo (adimensional), M_m é a média mensal de consumo (m^3) e M_a é a média anual de consumo (m^3).

1.3.8 Potencial de economia de água potável (PEAP)

O PEAP foi calculado com a [Equação 9](#):

$$E = \frac{V_a}{V} \cdot 100 \quad \text{Equação 9}$$

onde: E é o potencial de economia de água potável (PEAP) (%), V_a é o volume captável e aproveitável ($\text{m}^3/\text{mês}$), V é o volume mensal consumido ($\text{m}^3/\text{mês}$).

1.3.9 Balanço mensal dos volumes de captação e consumo

Para se analisar a variação mensal do PEAP nas sub-bacias, assim como analisar as sobras ou déficits mensais, foi realizado um balanço mensal de volumes, utilizando-se a [Equação 10](#), onde o balanço mensal da sub-bacia (B_{ms}) é dado pela diferença entre o volume mensal de chuva que pode ser coletado e aproveitado (V_a em $\text{m}^3/\text{mês}$) e o volume mensal consumido (V em $\text{m}^3/\text{mês}$).

$$B_{ms} = V_a - V \quad \text{Equação 10}$$

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Caracterização da área de estudo

A escolha da área de estudo se deu em função da disponibilidade de dados de monitoramento no ponto definido como Exutório, apresentado na [Figura 3](#). Nesse ponto, a área de estudo representa 77,34% (24,75 Km^2) da área da BP (32 Km^2). Na [Figura 3](#) também são apresentadas as delimitações das 16 sub-bacias (S1 a S16) e as categorias de uso do solo utilizadas nessa pesquisa.

Na [Tabela 1](#) são apresentados os resultados de uso do solo para a área de estudo, sendo que as áreas de telhado estão incluídas nas áreas construídas, detalhadas a diante.

Tabela 1 – Áreas, por categoria de uso do solo, em hectares

Veg. Rasteira	601,06
Veg. Arbórea	466,50
Solo Exposto	136,41
Pav. Asfáltico	247,95
Área Construída	1016,46
Água	6,49
Total	2.474,87

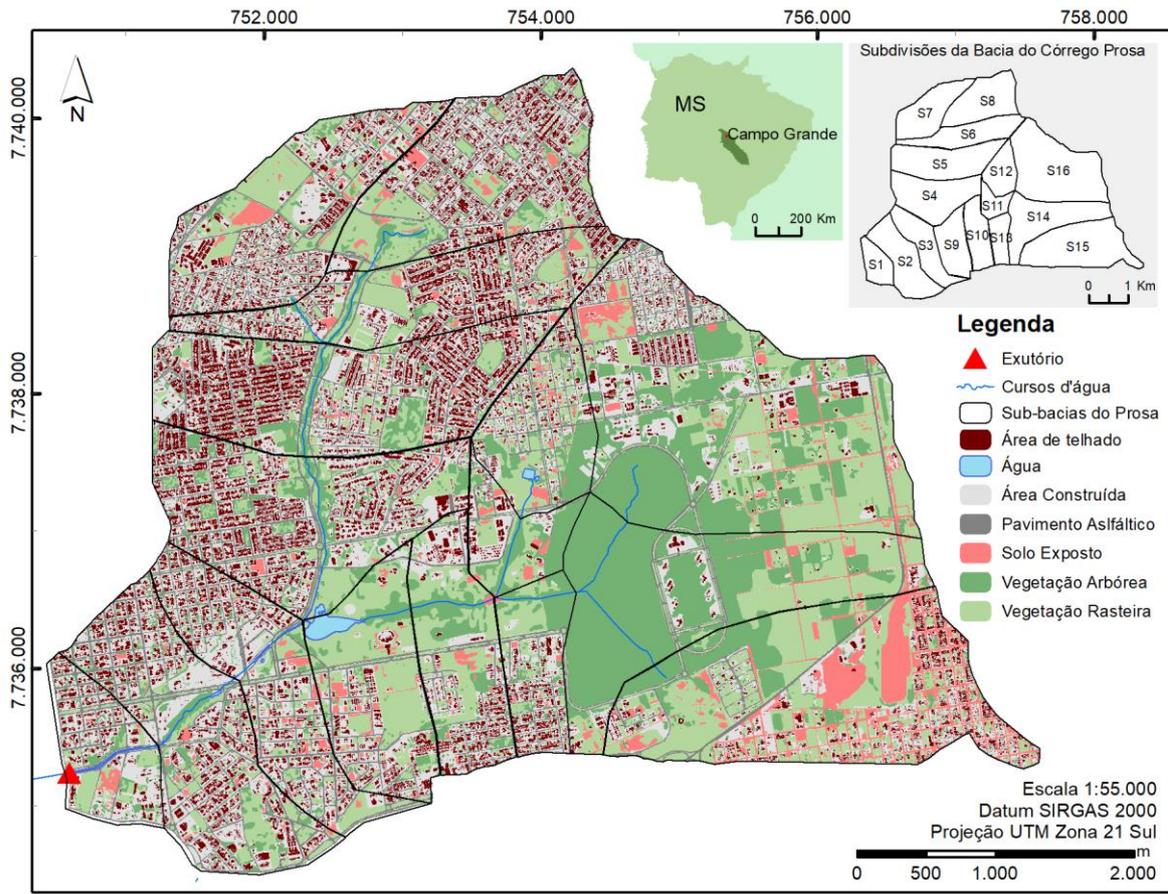


Figura 3 – Delimitação da Área de Estudo, suas Sub-Bacias e uso do solo para o ano de 2016.

1.4.2 População atendida com abastecimento de água

Para o cálculo da quantidade de ligações ativas de água na área de estudo, foram utilizados dados de atendimento de água potável ([Tabela 2](#)) para calcular a densidade populacional para o abastecimento de água, dividindo-se a população urbana atendida com abastecimento de água (850.858 pessoas) pela quantidade de ligações ativas de água (275.124 unidades), resultando em uma densidade populacional para o abastecimento de água de 3,09 pessoas por ligação de água.

O consumo médio per capita foi calculado dividindo-se o volume de água micromedido, que representa o somatório dos volumes consumidos em cada unidade predial, pela população urbana atendida com abastecimento de água.

Tabela 2 – Dados de atendimento por água potável em Campo Grande-MS (ano 2016)

Ligações ativas de água	275.124	Unidades
Volume de água micromedido	49.487,03	1000m ³ /ano
População urbana atendida com abastecimento de água	850.858	Pessoas
Densidade populacional para o abastecimento de água	3,09	Pessoas/Ligação
Consumo médio por economia	492,80	Litros/Ligação.dia
Consumo médio per capita	159,35	Litros/Pessoas.dia

Fonte: SNIS (2022)

1.4.3 Áreas de telhado por Estimativa Estatística (EE)

Segundo [Ghisi \(2006\)](#) e Ghisi et al. (2006), para determinar aproximadamente a área média de telhado por domicílios, é necessário obter as porcentagens das quantidades de casas e apartamentos. Para a região em estudo, região do Prosa em Campo Grande-MS, esses valores foram obtidos de PLANURB (2017), com 23.283 unidades de casas (92,21%) e 1.966 unidades de apartamentos (7,79%) para o ano de 2010. Assumiu-se que a proporção de casas e apartamentos se manteve constante até o ano de estudo (2016), devido à falta de informações demográficas mais recentes.

Na [Tabela 3](#) são apresentados os resultados de área de telhado e população, com um total de 125,92 ha de áreas de telhado (5,09%) na área de estudo (2.474,87 ha). Pode-se considerar que a área média de telhado por ligação de água é de 64,84 m²/unid e a relação de área de telhado por pessoa é de 20,98 m²/pessoa.

É importante ressaltar que as áreas de telhados estimados representam apenas os telhados que cobrem residências (casas e apartamentos), o que pode reduzir os resultados de área de telhado por ligação e por pessoa, em relação à realidade.

Tabela 3 - Área de telhado e população (Estimativa Estatística)

Área da bacia (ha)	Área de Telhados Residenciais (ha)	Área de Telhados Residenciais (%)	População (pessoas)	Área de telhado por ligação (m ² /unid.)	Área de telhado por pessoa (m ² /pessoa)
2.474,87	125,92	5,09	60.012	64,84	20,98

1.4.4 Áreas de telhado por *Pixel – Wise Deep Learning* (PWDL)

Na [Figura 4](#) é apresentado um exemplo de resultado da aplicação da mensuração de telhados com PWDL para uma quadra na bacia de estudo.

Na [Tabela 4](#) são apresentados os resultados de área de telhado e população, com um total de 291,44 ha de áreas de telhado (11,78%) na área de estudo (2.474,87 ha).

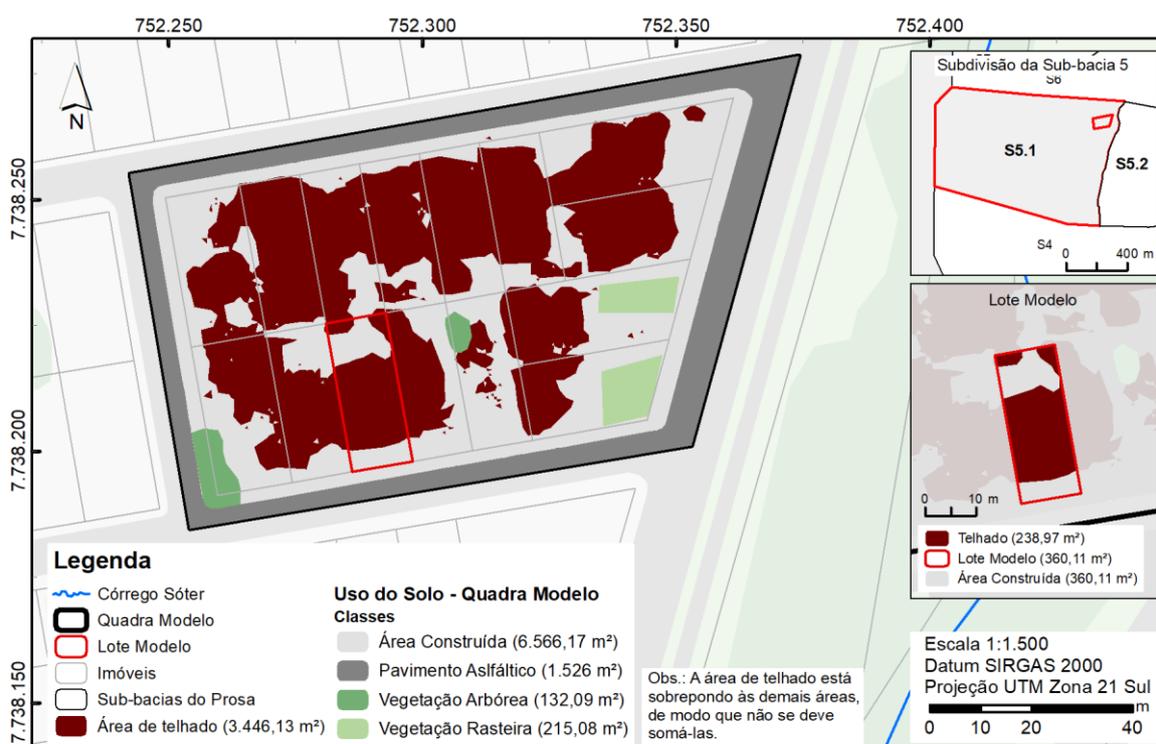


Figura 4 - Exemplo de resultado da aplicação da mensuração de telhado em uma quadra

Pode-se considerar que a área média de telhado por ligação de água é de 150,06 m²/unid e a relação de área de telhado por pessoa é de 48,56 m²/pessoa ([Tabela 4](#)).

É importante ressaltar que essa metodologia não distingue as áreas de telhados residenciais e não residenciais.

Tabela 4 – Área de telhado e população (PWDL)

Área da bacia (ha)	Área de Telhados (ha)	Área de Telhado (%)	População (pessoas)	Área de telhado por ligação (m ² /unid.)	Área de telhado por pessoa (m ² /pessoa)
2.474,87	291,44	11,78	60.012	150,06	48,56

Também é importante destacar as diferenças entre as áreas de telhado obtidas com as duas metodologias, onde a diferença entre a área de telhado da [Tabela 4](#) e a área de telhados residenciais da [Tabela 3](#) é de 165,52 ha, podendo ser interpretada como sendo a área de telhados de prédios comerciais, governamentais, públicos etc, exceto casas e apartamentos, o que representa 56,76% da área total de telhados.

Também pode-se interpretar que a área de telhado obtida por PWDL contém a área de telhados residenciais obtida por EE.

1.4.5 Precipitação

Os dados de precipitação utilizados nesse trabalho foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET em 2017, com totais horários, para o período de setembro de 2001 a julho de 2017, onde a precipitação média anual em Campo Grande/MS foi de 1.388,2 mm/ano, com valor médio mensal de 115,7 mm. Também observou-se que em 64,49% dos dias não houve ocorrência de chuva, sendo que as falhas de dados representaram 6,98 % de seu total ([Tabela 5](#)).

Tabela 5 – Análise dos dados de precipitação obtidos para o município de Campo Grande/MS.

Município	Período analisado	Dias	Anos	Dias com chuvas	Dias sem chuva	Média de precipitação (mm/ano)
Campo Grande/MS	10/09/2001 a 18/07/2017	5790	15,86	2057	3734	1.388,2

Dados fornecidos pelo do INMET em 2017.

A [Figura 5](#) apresenta os resultados médios mensais de precipitação e temperatura em Campo Grande/MS, onde é possível observar que o volume precipitado diminui consideravelmente entre os meses de junho e agosto, período de inverno.

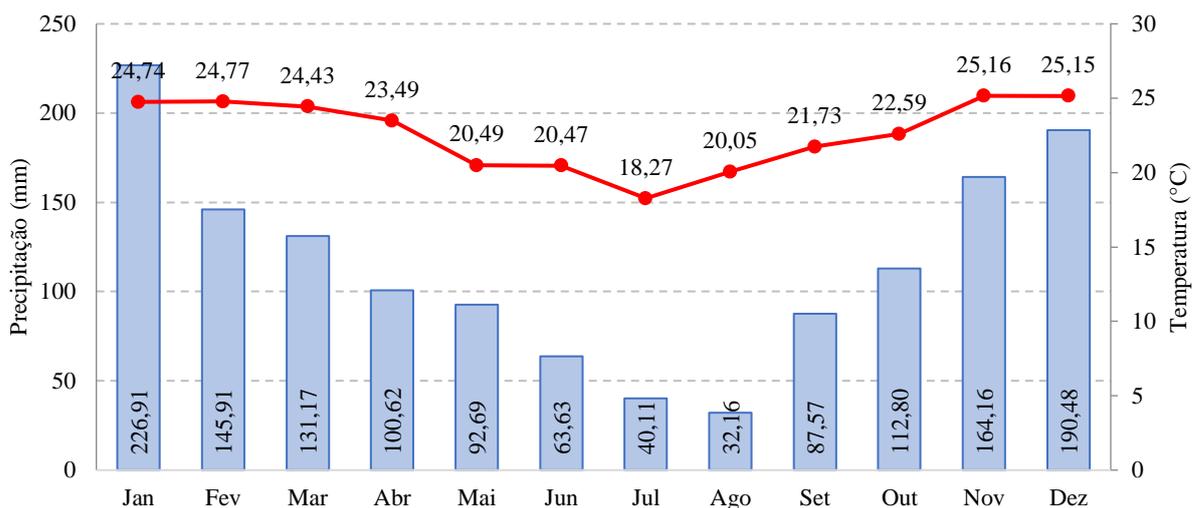


Figura 5 – Precipitação e temperatura médias mensais em Campo Grande/MS.
Dados do INMET (2017).

1.4.6 Consumo de água potável

A variação mensal do consumo de água foi representada aplicando-se o coeficiente K ([Figura 6](#)), calculado com dados de consumo do município ([Tabela 26](#) em anexo).

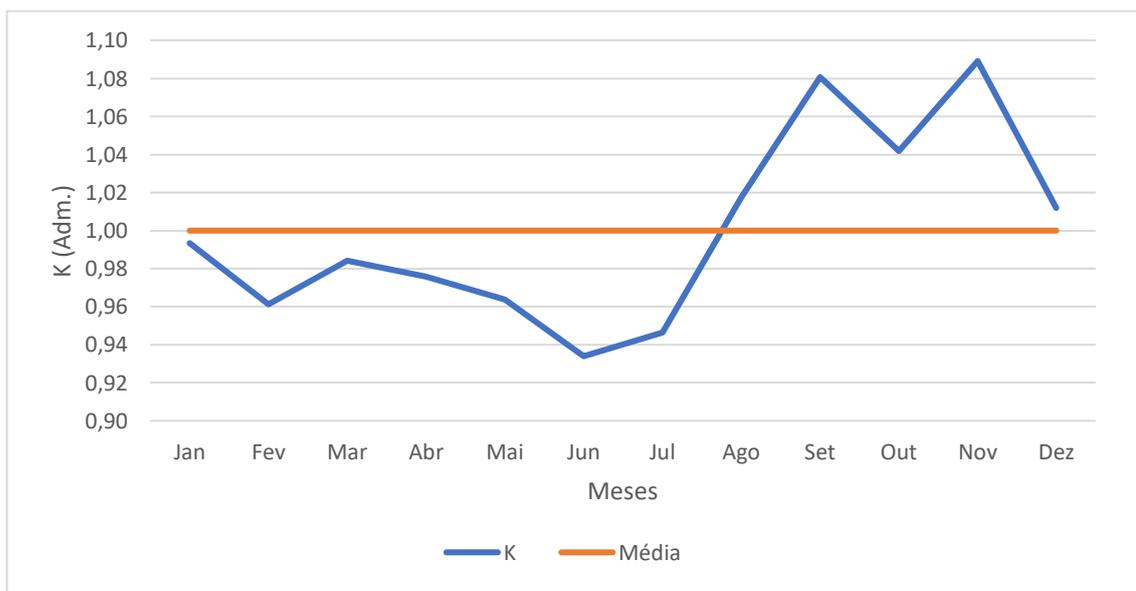


Figura 6 – Coeficientes de variação mensal de consumo em Campo Grande-MS

O consumo médio mensal de água potável, para a área de estudo, é apresentado na [Figura 7](#), sendo o valor de consumo médio mensal de 291.667 m³/mês e total de 3.500.005 m³/ano.

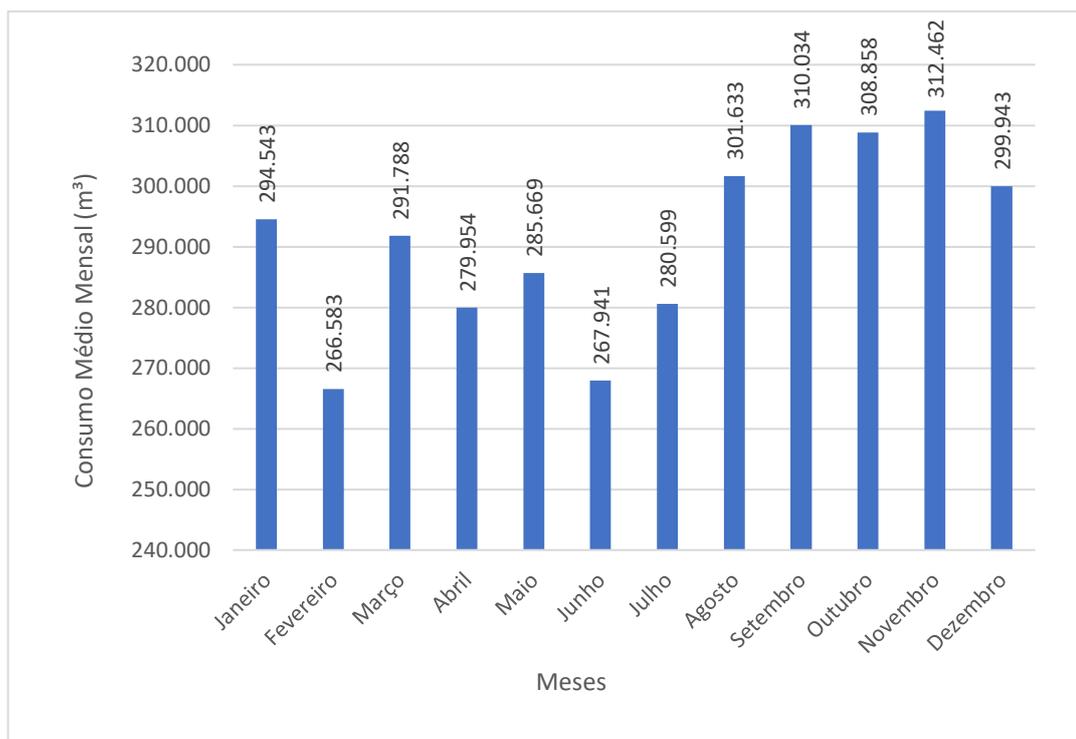


Figura 7 – Consumo médio mensal de água potável na área de estudo

1.4.7 Potencial de economia de água potável por EE

A [Tabela 6](#) apresenta o potencial mensal de economia de água potável para a área de estudo, utilizando a metodologia de Estimativa Estatística (EE), a partir dos valores dos volumes de água pluvial aproveitável e do consumo de água potável, apresentados anteriormente.

Analisando a [Tabela 6](#), nota-se que o volume total de água pluvial aproveitável para o ano é de 1.398.400 m³, com consumo de 3.500.005 m³, resultando em um potencial de economia de 39,95% e déficit anual de 2.101.605 m³. O PEAP não chega a 100% em nenhum mês sendo, o valor mínimo de aproveitamento de 10,74% em agosto.

É importante ressaltar que esta metodologia considera que a captação de água pluvial ocorre apenas em telhados residenciais de casas e apartamentos, conforme Ghisi et al. (2006). Já a demanda ou consumo de água potável total, sempre é calculado utilizando-se o consumo médio per capita (q) em equações semelhantes à [Equação 7](#), onde os principais fatores são a população e o consumo médio dessa população, em uma região maior que a região onde encontram-se as casas e apartamentos.

Tabela 6 - Potencial mensal de economia de água potável na área de estudo (por Estimativa Estatística)

Mês	Volume de água pluvial aproveitável (m³)	Consumo de água potável (m³)	Potencial de Economia (%)
Jan.	228.577	294.543	77,60
Fev.	146.982	266.583	55,14
Mar	132.134	291.788	45,28
Abr	101.359	279.954	36,21
Mai	93.371	285.669	32,69
Jun	64.098	267.941	23,92
Jul	40.395	280.599	14,40
Ago	32.396	301.633	10,74
Set	88.213	310.034	28,45
Out	113.629	308.858	36,79
Nov	165.366	312.462	52,92
Dez	191.880	299.943	63,97
Total	1.398.400	3.500.005	39,95

Neste momento é importante entender a metodologia de cálculo do consumo médio per capita (q) utilizado pelas companhias de abastecimento de água. No Brasil, esse cálculo é feito dividindo-se o volume total de água fornecida, pela população total atendida em uma região. Sendo que o volume total de água fornecida, é obtido pelo somatório das micromedições, podendo ser compreendido como o somatório dos volumes consumidos em todas as unidades consumidoras, sem distinção entre casas, apartamentos, prédios comerciais, governamentais, públicos dentre outros.

Assim, a metodologia de cálculo do consumo médio per capita (q) utilizado pelas companhias de abastecimento de água, aplicada à metodologia da EE, tornam as escalas da área de captação e área de consumo, discrepantes. E o efeito nos resultados é o de concentrar o consumo de água potável em uma restrita área de captação, resultando em um menor volume de água pluvial aproveitável e, conseqüentemente em um menor potencial de economia.

Então, para se reduzir essa discrepância seria necessário utilizar um consumo médio per capita (q) obtido com a micromedição apenas de unidades de casas e apartamentos na área em estudo ou, quantificar a totalidade de áreas de telhado (casas, apartamentos, prédios comerciais, governamentais, públicos entre outros) na área em estudo, conforme apresentado a seguir.

1.4.8 Potencial de economia de água potável por PWDL

O volume médio mensal aproveitável, captável pelos telhados da área de estudo, pode chegar a 269.718 m³/mês e total de 3.236.616 m³/ano.

A [Tabela 7](#) apresenta o PEAP para a área de estudo, pela metodologia PWDL, calculados a partir dos valores dos volumes de água pluvial aproveitável e do consumo de água potável, apresentados anteriormente.

Analisando a [Tabela 7](#), nota-se que o volume total de água pluvial aproveitável para o ano é de 3.236.616 m³, com consumo de 3.500.005 m³, resultando em um potencial de economia de 92,47% e déficit de 263.389 m³. O PEAP chega a 100% em vários meses, com o valor mínimo de aproveitamento de 24,86% em agosto.

Tabela 7 – Potencial de economia de água potável na área de estudo por PWDL

Mês	Volume de água pluvial aproveitável (m³)	Consumo de água potável (m³)	Potencial de Economia (%)
Jan.	529.045	294.543	100
Fev.	340.192	266.583	100
Mar	305.825	291.788	100
Abr	234.598	279.954	83,80
Mai	216.109	285.669	75,65
Jun	148.355	267.941	55,37
Jul	93.494	280.599	33,32
Ago	74.982	301.633	24,86
Set	204.171	310.034	65,85
Out	262.995	308.858	85,15
Nov	382.742	312.462	100
Dez	444.108	299.943	100
Total	3.236.616	3.500.005	92,47

1.4.9 Comparações entre PEAP com EE e PWDL

Comparando os resultados entre as metodologias EE e PWDL, nota-se que a maior área de captação resultante da PWDL apresentou um volume pluvial aproveitável anual 56,79% maior que a metodologia EE, o que elevou o potencial de economia de 39,95% para 92,47%.

A fim de se comparar os resultados obtidos nesse estudo, a [Tabela 8](#) apresenta os resultados de estudos realizado para cidades e regiões do Brasil considerando a metodologia de EE.

Considerando os resultados obtidos com metodologia de EE, o PEAP encontrado para a área de estudo (39,95%) está abaixo da maioria dos valores apresentados na [Tabela 8](#), com destaque para os 74% encontrado por Ghisi (2006) para o Centro-Oeste do Brasil, mesma região da área de estudo deste trabalho, ficando próximo dos valores encontrados para Florianópolis/SC, no sul do Brasil ([Ghisi e Oliveira, 2007](#)).

A título de comparação, nos resultados com a metodologia de PWDL, que considera uma maior área de captação, o PEAP encontrado para área de estudo supera os potenciais de economia no Brasil. Ainda, em comparação, o potencial de economia encontrado nesse estudo se iguala ao potencial encontrado na região da Amazônia Ocidental, onde a média anual de precipitação varia entre 1.400 a 2.000 mm/ano, enquanto que em Campo Grande este valor é de 1.417 mm/ano.

O potencial de economia de 92,47 % supera a maioria dos resultados apresentados nos estudos da [Tabela 8](#), inclusive superando o potencial de economia de 74%, da região centro oeste, encontrado por Ghisi. (2006).

Tabela 8 – Comparação dos resultados do potencial de economia de água para outras localidades no Brasil.

Referência Coeficiente de escoamento (Rc)	Objetivo	Localização	Potencial de economia de água (%)
PWDL Rc=0,80	PEAP	Bacia do Prosa - Campo Grande-MS, Brasil	92,47 (24,86 - 100)
EE Rc=0,80	PEAP	Bacia do Prosa - Campo Grande-MS, Brasil	39,95 (10,74 – 77,60)
GHISI (2006) Rc não definido	PEAP	Brasil	48 - 100
		Norte	100
		Nordeste	61
		Sudeste	48
		Sul	82
		Centro-Oeste	74
GHISI <i>et al.</i> (2006) Rc=0,80	PEAP	62 cidades – Sul Brasil	71 (55 – 87)
		Florianópolis	27 - 73
		Armazém	34
		Curitibanos	95
GHISI <i>et al.</i> (2007) Rc=0,80	Uso de água potável e não potável	Sudoeste	29 – 42
		Minas Gerais	42
		São Paulo	42
		Espírito Santos	35
		Rio de Janeiro	29
GHISI; OLIVEIRA (2007) Rc=0,80	Descarga de bacias sanitárias e lavagem de roupa	Palhoça/SC – Brasil - A	35,5
		Palhoça/SC – Brasil - B	33,6
GHISI; FERREIRA (2007) Rc=0,85	Uso de água não potável	Florianópolis/SC	39,2 - 42,7
GHISI <i>et al.</i> (2009) Rc=0,80	Economia de água em posto de combustível	Brasília/DF	73 (7,4 – 57,2 ⁽¹⁾)
LIMA <i>et al.</i> (2011) Rc=0,80	Uso de água potável e não potável	40 cidades – Região Amazônica Ocidental	76 (21 - 100)
		Rondônia	73
		Roraima	80
		Amazônia	51
		Acre	68
GHISI; SCHONDERMARK (2013) Rc=0,80	Uso de água não potável	Chapecó, Criciúma, Florianópolis, Lages.	0 - 50

(1) Devido as capacidades ideais para o tanque de água.

1.4.10 Análise do balanço mensal dos volumes de captação e consumo

A [Figura 8](#) apresenta as comparações entre consumo e captação de água em telhados pelas metodologias de EE e PWDL, onde nota-se que a discrepância de escala espacial comentada anteriormente, intrínseca à metodologia de EE, reduz drasticamente o PEAP em relação à metodologia de PWDL.

Mesmo com uma área de captação em mesma escala espacial que o consumo (na metodologia de PWDL), na [Figura 8](#) pode-se observar que os meses de novembro a março a área em estudo apresenta captação superior à demanda, enquanto nos demais meses há déficit de captação em relação ao consumo.

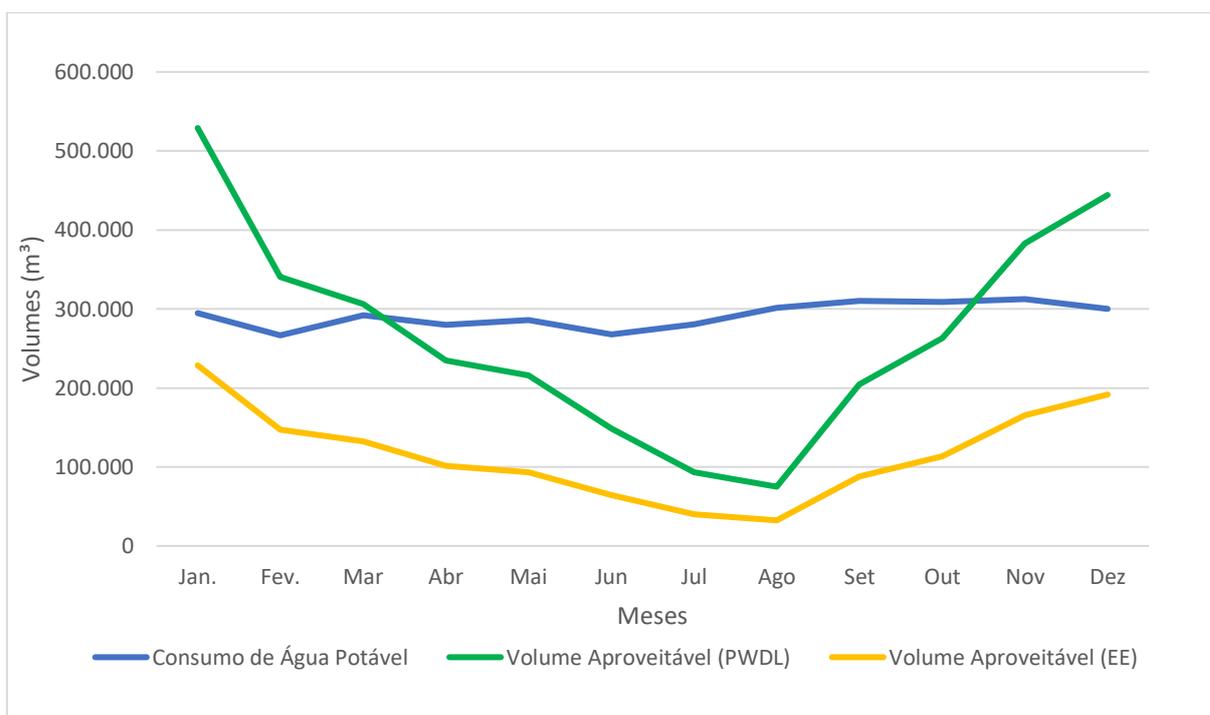


Figura 8 – Relação entre consumo e captação de água em telhados

Para se analisar a variação do consumo contra a captação foi calculado o balanço mensal de volumes ([Figura 9](#)), onde os volumes negativos representam meses que os volumes de consumo de água potável superaram a captação pluvial dos telhados.

Com a metodologia de EE há déficit em todos os meses do ano, enquanto com a metodologia PWDL o déficit acontece em sete meses do ano (de abril a outubro).

Portanto, mesmo considerando a metodologia de PWDL, não há como atingir o potencial de economia de 92,47% sem a utilização de armazenamento dos volumes excedentes para uso futuro.

Tomando-se a hipótese de aproveitamento total do PEAP por captação pluvial, pela metodologia de PWDL, o volume de armazenamento total deve contemplar o somatório dos volumes mensais negativos (799.984 m³), limitado ao somatório dos volumes mensais excedentes (536.595 m³), portanto o volume necessário de reservação para se atingir os 92,47% de economia de água potável deve ser de 536.595 m³, sendo que se a distribuição do volume de reservação (536.595 m³) for feita por área de telhado ou por pessoa, as taxas são respectivamente de 0,1841 m³/m² ou 8,94 m³/pessoa. Assim, considerando-se o consumo médio per capita de 159,35 L/pessoa.dia, o volume de reservação por pessoa deve ser o equivalente ao volume de consumo aproximado de 56 dias.

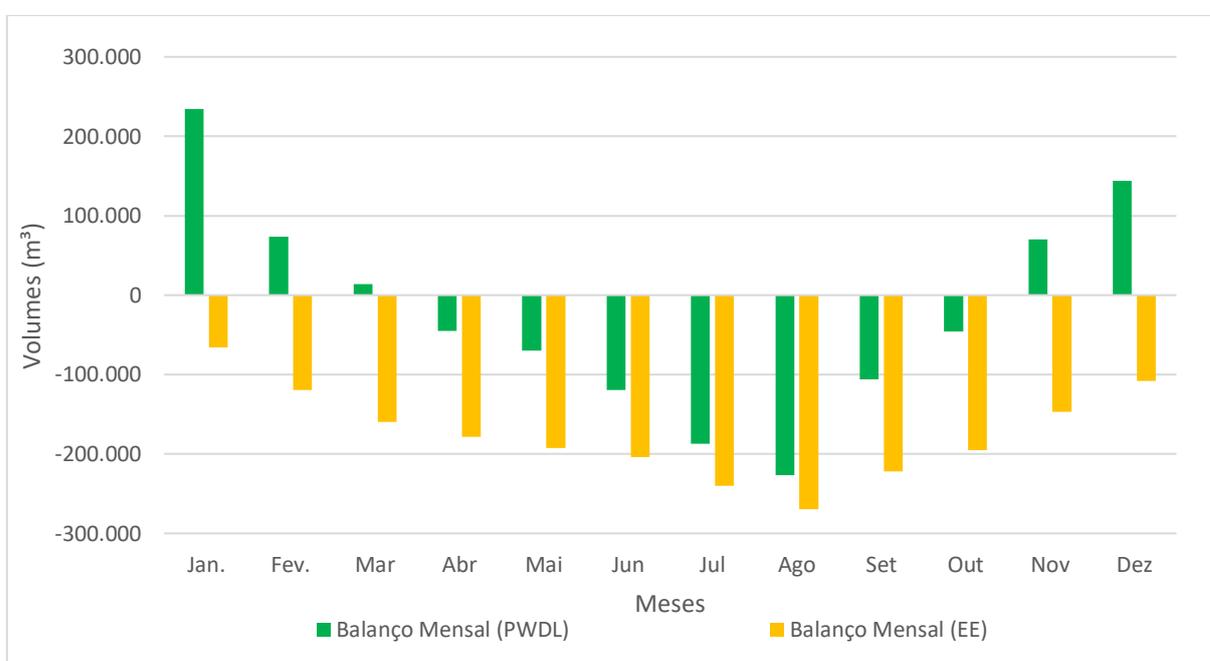


Figura 9 – Balanço mensal entre captação e consumo

1.5 CONCLUSÕES

A metodologia de Estimativa Estatística (EE) apresentou resultados apontando para um PEAP, pela CPT, de 39,95% anualmente, podendo variar entre 10,74% e 77,60% ao longo dos meses.

Já pela mensuração com PWDL, existe um grande PEAP por CPT, que pode chegar a 92,47% anualmente, porém a sazonalidade das chuvas do local de estudo provoca uma variação mensal de economia entre 24,86% e 100%. E, com essa variação, pode-se afirmar que o potencial de economia anual só pode ser atingido

com a utilização de reservação de volumes excedentes para uso futuro, a uma taxa de 8,94 m³/pessoa, o que equivale à reservação de aproximadamente 56 dias de consumo de água potável. Assim, o PEAP analisado, deve ser compreendido como um valor máximo de potencial.

CAPÍTULO 2

2 A INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL NO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL ATRAVÉS DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS

2.1 RESUMO

A discretização espacial de uma bacia hidrográfica é um processo que segmenta a área da bacia em sub-bacias menores, para melhor representar suas características hidrológicas. Este capítulo analisa a influência da discretização espacial na estimativa do potencial de economia de água potável (PEAP) pela captação pluvial em telhados (CPT).

Evidenciou-se que, ao analisar a bacia como um todo, ocorre uma transferência de volumes que afeta o resultado do potencial de economia. Essa transferência ocorre durante o balanço de volumes entre áreas de captação, o que difere da realidade. Nesse estudo, o PEAP, pela CPT, foi calculado para três discretizações espaciais diferentes. Nessas análises, os volumes excedentes de uma área de captação não foram transferidos para áreas com déficit.

Esse trabalho conferiu aprofundamento investigativo ao avaliar a influência da escala espacial no PEAP pela CPT. Os resultados revelaram variações no potencial de economia, entre 47,12% e 92,47%, conforme diferentes discretizações.

Palavras-chave: aproveitamento de água da chuva; economia de água; discretização de bacia hidrográfica.

2.2 INTRODUÇÃO

A discretização espacial de uma bacia hidrográfica consiste no processo de dividir a área da bacia em unidades menores, chamadas de sub-bacias, a fim de representar a distribuição espacial das características hidrológicas dentro da bacia.

Essa discretização pode ser feita de várias maneiras, dependendo dos objetivos do estudo e da disponibilidade de dados. No caso desse estudo, o objetivo foi analisar a influência da discretização espacial no PEAP, por CPT. A área de estudo adotada foi a mesma apresentada nos itens [1.3.1](#) e [1.4.1](#), e a metodologia de quantificação das áreas de telhados, a mesma apresentada no item [1.3.5](#), com uso inteligência artificial.

Quando se realiza uma macro análise, com uma grande área de estudo, como na área de estudo adotada, incorpora-se um problema de transferência de volumes, que impacta o resultado do potencial de economia, uma vez que os volumes de sobra de água de uma área são somados à outra área durante o balanço de volumes, fato que não ocorreria na realidade.

Nesse capítulo, foram analisadas algumas discretizações espaciais, onde os volumes de sobra de água de uma área de captação não foram transferidos à outra área com déficit. Assim, as contribuições inferidas por este trabalho estão na mensuração da influência da escala espacial no PEAP pela CPT.

E, para se caracterizar essa influência no potencial de economia, três níveis de discretizações foram analisados, sendo eles:

- Discretização zero (D0), que representa a bacia de estudo com um todo;
- Discretização um (D1), que representa a discretização da bacia de estudo em 16 sub-bacias (S1 a S16);
- Discretização dois (D2), que representa a maior discretização, a nível de telhados individuais.

2.3 METODOLOGIA

2.3.1 Delineamento do estudo

Três cenários de discretização espacial foram testados na área de estudo, sendo calculados os potenciais de economia de água potável para cada cenário, conforme apresentado no fluxograma da [Figura 10](#).

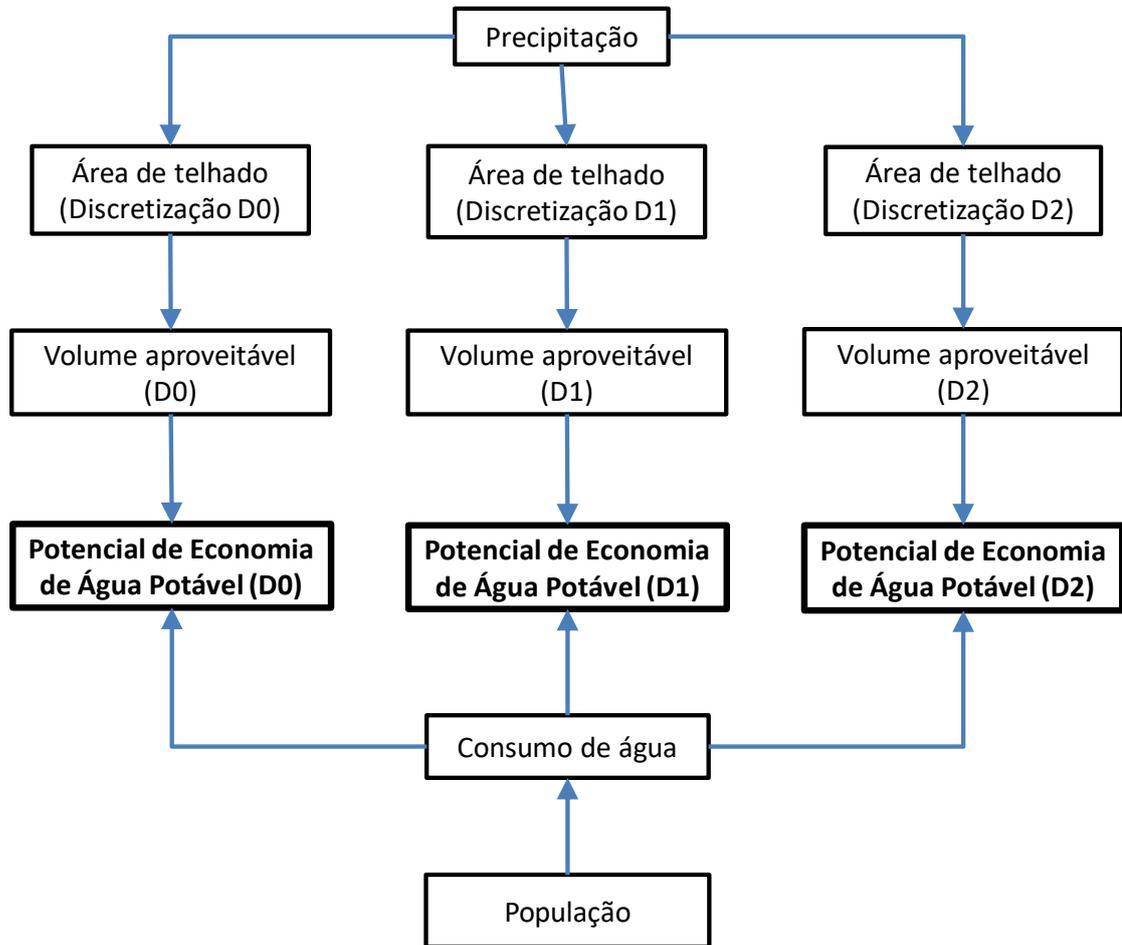


Figura 10 – Fluxograma do estudo

A seguir são apresentados os detalhes das três discretizações analisadas neste estudo.

2.3.2 Discretização zero (D0)

Neste cenário de discretização, a área de estudo foi analisada como uma única parcela de área, e representa a discretização que contém o problema de transferência de volumes, mencionado anteriormente.

2.3.3 Discretização um (D1)

Nesta discretização (D1) a área de estudo foi dividida em 16 parcelas de área, denominadas de S1 a S16 ([Figura 3](#)), representando as sub-bacias utilizadas como unidades de planejamento pela Prefeitura Municipal de Campo Grande-MS.

Neste cenário (D1), o problema de espacialidade é reduzido em relação ao cenário anterior (D0) uma vez que os volumes excedentes da captação em telhados de uma sub-bacia, não são transferidos à outras sub-bacias. Porém, apesar de menor, o problema da espacialidade ainda existe internamente nas sub-bacias.

2.3.4 Discretização dois (D2)

Nesta discretização (D2) foram utilizadas 4.735 parcelas de área contidas na área de estudo. Sendo esta, a discretização (D2) representa o cenário mais próximo da realidade, onde a análise realizada é a nível de telhado individual.

Neste cenário de discretização (D2) foram considerados apenas os telhados inseridos em terrenos com perímetros catalogados pela Prefeitura Municipal de Campo Grande-MS.

Os dados vetoriais de perímetros de terrenos, disponibilizados em formato shapefile, foram cruzados com os dados de áreas de telhados obtidos pela metodologia de PWDL, apresentado no capítulo anterior.

Da intersecção geométrica desses dados, obteve-se as áreas de telhados inseridas em cada terreno, possibilitando a minimização do problema de problema de espacialidade e transferência de volumes excedentes.

Assim, os resultados desse cenário representam a maior proximidade com a realidade, e a comparação com as discretizações D0 e D1 possibilitam analisar o efeito da discretização espacial no PEAP por CPT.

2.3.5 Demais metodologias

As demais metodologias tais como área de estudo, população atendida com abastecimento de água, mensuração das áreas de telhado, precipitação, volume de água pluvial aproveitável e consumo de água potável, foram apresentadas no Capítulo 1.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Áreas de telhado e população para Discretização zero (D0)

Na [Tabela 9](#) são apresentados os resultados de área de telhado e população na área de estudo, para a discretização D0, com um total de 291,44 ha de áreas de telhado (11,78%) na área de estudo (2.474,87 ha).

Pode-se considerar que a área média de telhado por ligação de água é de 150,06 m²/unid e a relação de área de telhado por pessoa é de 48,56 m²/pessoa ([Tabela 9](#)).

Tabela 9 – Área de telhado e população para a D0

Área da bacia (ha)	Área de Telhados (ha)	Área de Telhado (%)	População (pessoa)	Área de telhado por ligação (m ² /unid.)	Área de telhado por pessoa (m ² / pessoa)
2.474,87	291,44	11,78	60.012	150,06	48,56

2.4.2 Áreas de telhado e população para Discretização um (D1)

Na [Tabela 10](#) são apresentados os resultados de áreas de telhados e população por sub-bacia para a D1, sendo que a sub-bacia S14 apresentou a menor porcentagem de telhado (1,22 %) e a S5 a maior porcentagem (23,97 %), com um total de 291,44 ha de áreas de telhado (11,78%) na área de estudo (2.474,87 ha).

As sub-bacias apresentaram valores de área média de telhado por ligação entre 32,82 m²/unid (S14) e 268,25 m²/unid (S4), diante da média de 150,06 m²/unid.

A relação de área de telhado por pessoa varia entre 10,62 m²/pessoa na S14 e 86,81 m²/pessoa na S4 ([Tabela 10](#)), sendo a média de 48,56 m²/pessoa.

Conforme pode ser observado na [Figura 11](#), a correlação entre população e área de telhado é baixa, porém, pode-se concluir que quanto maior a população, maior a área de telhado na sub-bacia.

É importante ressaltar que não foi considerado distinção entre áreas de telhados residenciais e comerciais, onde as densidades de pessoas são diferentes.

Tabela 10 – Áreas de telhado e população, por sub-bacias, para a D1

Sub Bacia	Área da Sub Bacia (ha)	Área de Telhado (ha)	Área de Telhado (%)	População (pessoa)	Área de telhado por ligação (m ² /unid.)	Área de telhado por pessoa (m ² /pessoa)
S1	64,5	8,00	12,4	1.441	171,55	55,52
S2	171,42	27,35	15,95	4.384	192,77	62,39
S3	129,19	19,72	15,26	3.106	196,18	63,49
S4	201,15	40,94	20,35	4.716	268,25	86,81
S5	206,8	49,56	23,97	6.854	223,43	72,31
S6	139,46	26,67	19,12	4.841	170,23	55,09
S7	153,89	21,26	13,82	6.694	98,14	31,76
S8	170,35	27,27	16,01	6.253	134,76	43,61
S9	115,95	8,79	7,58	2.377	114,27	36,98
S10	97,54	9,97	10,22	1.583	194,61	62,98
S11	46,91	2,99	6,37	686	134,68	43,59
S12	83,71	5,32	6,36	1.224	134,30	43,46
S13	56,86	6,66	11,71	787	261,49	84,63
S14	210,29	2,56	1,22	2.410	32,82	10,62
S15	272,31	17,67	6,49	4.959	110,10	35,63
S16	354,54	16,71	4,71	7.697	67,08	21,71
Total ou Média	2.474,87	291,44	11,78	60.012	150,06	48,56

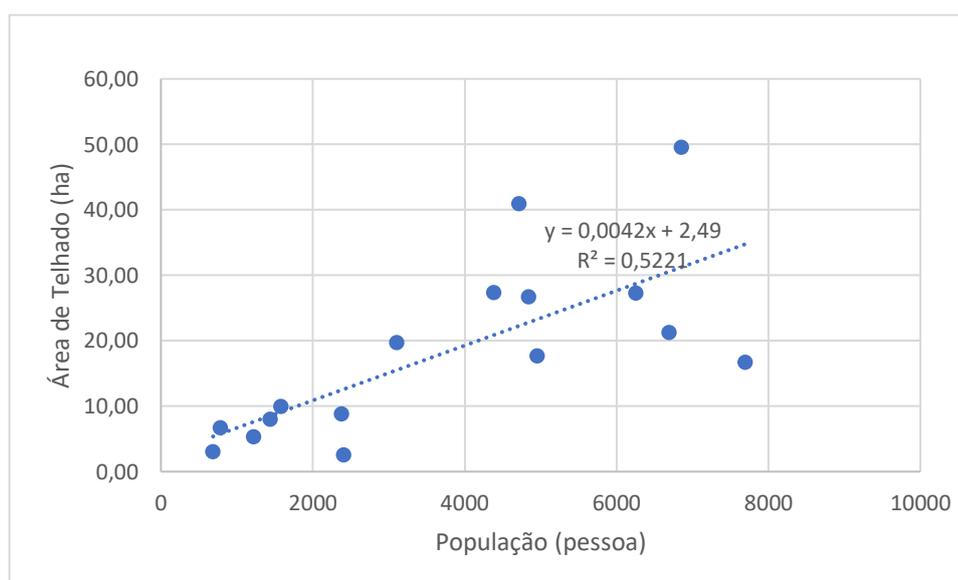


Figura 11 – Correlação entre população e área de telhado, para a D1

2.4.3 Áreas de telhado e população para Discretização dois (D2)

Na [Tabela 11](#) são apresentados os resultados de áreas de telhados e população por sub-bacia para a D2, sendo que a sub-bacia S12 apresentou a menor área de telhados em lotes identificados (1,67 ha) e a S4 a maior área (22,64 ha), em um total de 127,66 ha de áreas de telhado em lotes identificados na área de estudo (2.474,87 ha).

As sub-bacias apresentaram valores de área média de telhado por ligação (lote identificado) entre 185,01 m²/unid (S12) e 684,90 m²/unid (S14), diante da média de 269,61 m²/unid. O que difere consideravelmente dos resultados da D1, caracterizando, inicialmente, a influência da discretização nos resultados.

A densidade habitacional (relação entre população e quantidade de lotes) varia entre 2,54 (pessoa/lote) na S4 e 64,48 (pessoa /lote) na S14 ([Tabela 11](#)), sendo a média de 5,78 (pessoa /lote).

Tabela 11 - Áreas de telhado e população, por sub-bacias, para a D2

Sub Bacia	Área de telhados em Lotes Identificados (ha)	População (pessoas)	Quantidade de Lotes Identificados (unid.)	Área de Telhado por Lote Identificado (m ² /lote)	Densidade por lote (pessoa/Lote)
S1	5,63	1.013	223	252,26	4,54
S2	18,07	2.897	612	295,34	4,73
S3	10,79	1.699	462	233,46	3,68
S4	22,64	2.608	1.026	220,70	2,54
S5	15,98	2.210	695	229,96	3,18
S6	6,82	1.239	360	189,53	3,44
S7	8,75	2.756	305	286,96	9,04
S8	5,78	1.324	275	210,04	4,82
S9	6,18	1.672	159	388,80	10,51
S10	4,55	723	124	367,15	5,83
S11	2,09	479	35	596,09	13,68
S12	1,67	383	90	185,01	4,26
S13	2,32	274	84	276,31	3,27
S14	2,47	2.321	36	684,90	64,48
S15	3,49	980	87	401,28	11,26
S16	10,43	4.805	162	643,97	29,66
Total ou Média	127,66	27.384	4.735	269,61	5,78

Conforme pode ser observado na [Figura 12](#), a correlação entre população e área de telhado é baixa, e ainda menor que a correlação apresentada na D1 ([Figura 11](#)) porém, também pode-se concluir que quanto maior a população, maior a área de telhado na sub-bacia. E, também é importante ressaltar que não foi considerado distinção entre áreas de telhados residenciais e comerciais, onde as densidades de pessoas são diferentes.

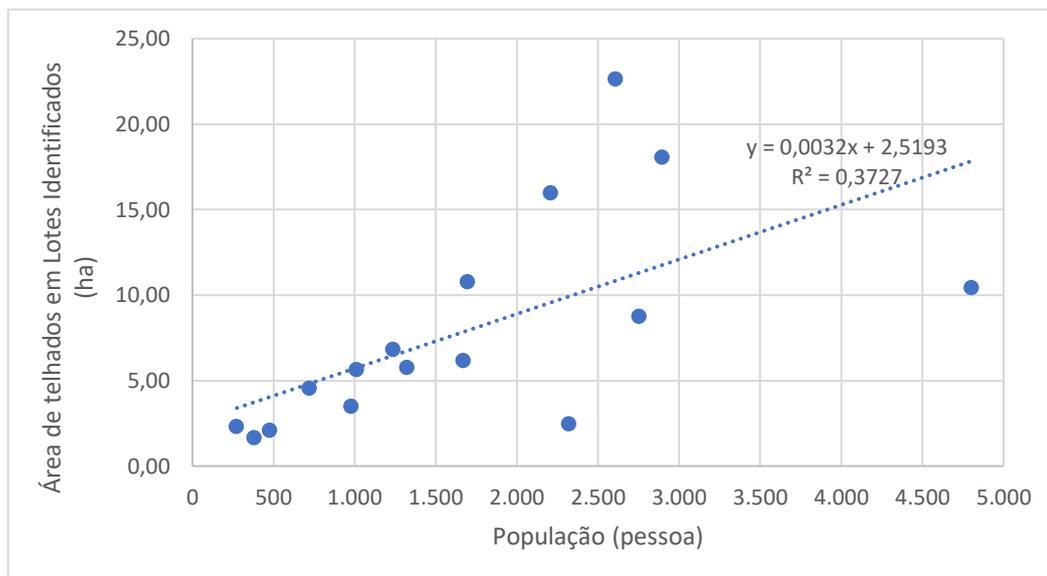


Figura 12 - Correlação entre população e área de telhado, para a D2

2.4.4 Potencial de economia de água potável (D0)

A [Tabela 12](#) apresenta o PEAP anual para a área de estudo na D0, a partir dos valores dos volumes de água pluvial aproveitável e do consumo de água potável, apresentados anteriormente.

Analisando a [Tabela 12](#), nota-se que o volume total de água pluvial aproveitável para o ano é de 3.236.616 m³, o que representa uma captação de 53,93 m³/pessoa.ano. Assim, o PEAP chega a 100% em várias sub-bacias, com o valor mínimo de aproveitamento de 20,23% na S14.

O potencial de economia de 92,47 % supera a maioria dos resultados apresentados nos estudos realizados para o Brasil ([Tabela 8](#)), inclusive superando o potencial de economia de 74%, da região centro oeste, encontrado por Ghisi. (2006), salvo as diferenças de metodologia já comentadas no capítulo anterior.

Tabela 12 – Potencial de economia de água potável anual, por sub-bacia com D0

Sub-bacia	Volume de água pluvial aproveitável (m³)	Consumo de água potável (m³)	Potencial de Economia (%)
S1	88.845	84.042	100
S2	303.738	255.683	100
S3	219.002	181.147	100
S4	454.663	275.045	100
S5	550.394	399.737	100
S6	296.186	282.336	100
S7	236.105	390.406	60,48
S8	302.850	364.686	83,04
S9	97.618	138.631	70,42
S10	110.723	92.323	100
S11	33.206	40.009	83,00
S12	59.082	71.386	82,76
S13	73.963	45.899	100
S14	28.430	140.555	20,23
S15	196.236	289.218	67,85
S16	185.575	448.903	41,34
TOTAL	3.236.616	3.500.005	92,47

2.4.5 Potencial de economia de água potável (D1)

A [Tabela 13](#) apresenta o PEAP anual para a área de estudo na D1, a partir dos valores dos volumes de água pluvial aproveitável e do consumo de água potável, apresentados anteriormente.

Neste cenário (D1), os volumes excedentes da captação em telhados de uma sub-bacia, não são transferidos à outras sub-bacias, o que reduz o problema de espacialidade em relação ao cenário anterior (D0). Assim, para a D1, o volume de água pluvial aproveitada se refere ao volume de água pluvial aproveitável de D0, limitado ao volume de consumo de água potável ([Tabela 12](#)).

Analisando a [Tabela 13](#), nota-se que o PEAP chega a 100% em várias sub-bacias, com o valor mínimo de aproveitamento de 20,23% na S14. Nota-se também, que o volume total anual de água pluvial aproveitado de 2.755.314 m³, e a captação de 45,91 m³/pessoa.ano, são 14,87% menores que os volumes da D0, indicando, também, a influência da discretização nos resultados.

Em comparação ao cenário anterior de D0, o menor potencial de economia de 78,72% é resultado da influência da discretização espacial, que resulta em um menor volume de água pluvial aproveitada, justamente pela impossibilidade de transferência de volumes de captação excedentes à outra sub-bacia.

Tabela 13 - Potencial de economia de água potável por sub-bacia com D1

Sub-bacia	Volume de água pluvial aproveitada (m³)	Consumo de água potável (m³)	Potencial de Economia (%)
S1	84.042	84.042	100
S2	255.683	255.683	100
S3	181.147	181.147	100
S4	275.045	275.045	100
S5	399.737	399.737	100
S6	282.336	282.336	100
S7	236.105	390.406	60,48
S8	302.850	364.686	83,04
S9	97.618	138.631	70,42
S10	92.323	92.323	100
S11	33.206	40.009	83,00
S12	59.082	71.386	82,76
S13	45.899	45.899	100
S14	28.430	140.555	20,23
S15	196.236	289.218	67,85
S16	185.575	448.903	41,34
TOTAL	2.755.314	3.500.005	78,72

2.4.6 Potencial de economia de água potável (D2)

Neste cenário de discretização (D2) foram considerados 4.735 parcelas de área de telhado contidos em terrenos com perímetros catalogados pela Prefeitura Municipal de Campo Grande-MS. Assim, dos 291,44 ha de áreas de telhado da D0 e D1, somente 127,66 ha estavam inseridos em terrenos catalogados pela prefeitura municipal.

A individualização de parcelas de telhados em terrenos é necessária para maximizar a discretização, ao distribuir tanto a captação quanto o consumo a nível de propriedade individual.

A [Tabela 14](#) apresenta o PEAP anual para parte da área de estudo na D2, a partir dos valores dos volumes de água pluvial aproveitável e do consumo de água potável, apresentados anteriormente.

Neste cenário (D2), os volumes excedentes da captação em telhados de uma área de telhado individual, não são transferidos à outra área individual, o que reduz ao máximo o problema de espacialidade em relação aos cenários anteriores (D0 e D1). Assim, para a D2, o volume de água pluvial aproveitada em cada um dos 4.735 telhados individuais, se refere ao volume de água pluvial aproveitável, limitado ao volume de consumo de água potável de cada telhado, sem transferência de excedente entre telhados.

Portanto a [Tabela 14](#) apresenta o PEAP com a minimização do problema de espacialidade, ou seja, excluindo-se a influência da discretização espacial, podendo ser comparado ao mais próximo da realidade.

Na [Tabela 14](#) o potencial de aproveitamento variou entre 13,71% na S14 e 79,89% na S4. Nota-se também, que o volume total anual de água pluvial aproveitada de 752.555 m³, representa 50,84% do total aproveitável, indicando também, a influência da discretização espacial nos resultados.

Em comparação ao cenário anterior de D1, o menor potencial de economia de 47,12% é notadamente resultado da influência da discretização espacial, que resultou em um menor volume de água pluvial aproveitada, justamente pela impossibilidade de transferência de volumes de captação excedentes entre telhados.

Assim, D2 ([Tabela 14](#)) o PEAP anual entre as sub-bacias, não chega aos valores de 100% apresentados em cenários de discretização anteriores (D0 e D1).

Tabela 14 - Potencial de economia de água potável anual, por sub-bacia com D2

Sub-bacia	Área de telhados em Lotes Identificados (ha)	Volume de água pluvial aproveitável (m³)	Consumo de água potável (m³)	Volume de água pluvial aproveitada (m³)	Potencial de Economia (%)
S1	5,63	124.949	59.097	36.528	61,81
S2	18,07	200.733	168.974	111.691	66,10
S3	10,79	119.784	99.079	66.587	67,21
S4	22,64	251.478	152.130	121.543	79,89
S5	15,98	177.495	128.911	88.329	68,52
S6	6,82	75.776	72.233	46.301	64,10
S7	8,75	97.199	160.721	51.058	31,77
S8	5,78	64.147	77.245	39.691	51,38
S9	6,18	68.654	97.497	38.710	39,70
S10	4,55	50.560	42.158	23.653	56,11
S11	2,09	23.170	27.917	8.167	29,25
S12	1,67	18.453	22.343	10.214	45,71
S13	2,32	25.776	15.996	11.660	72,90
S14	2,47	27.382	135.374	18.555	13,71
S15	3,49	38.771	57.141	14.491	25,36
S16	10,43	115.857	280.258	65.378	23,33
TOTAL	127,66	1.480.185	1.597.073	752.555	47,12

2.4.7 Análise comparativa entre discretizações espaciais

Na [Tabela 15](#), os resultados das sub-bacias para D0 e D1 são iguais, porém, o cálculo do total para a D1, não permitiu a transferência de volumes excedentes entre bacias, resultando em um potencial de aproveitamento menor que o da D0. Portanto, a discretização da área de estudo em 16 parcelas (sub-bacias) reduziu o potencial de aproveitamento de 92,47% para 78,72%, evidenciando a influência da discretização espacial no PEAP por CPT.

Ainda com relação à [Tabela 15](#), a comparação entre resultados da D1 e D2, evidenciam ainda mais essa influência, pois o potencial de aproveitamento caiu de 78,72% para 47,12% com o aumento da discretização de 16 parcelas de área para 4.735 parcelas de área.

Para facilitar a visualização, os valores do potencial de economia dos três cenários de discretização foram plotados na [Figura 13](#), onde pode-se notar que existe

um decréscimo da média do PEAP, conforme se aumenta a discretização espacial entre cenários (de D0 a D2).

Desta forma fica evidente que existe uma relação de inversão, com alguma proporcionalidade, entre o PEAP por CPT e a discretização espacial utilizada.

Tabela 15 – Potencial de economia por discretização e por sub-bacia

Discretização		D0	D1	D2
Parcelas de área (Unid.)		1	16	4.735
Potencial de Economia por sub-bacia (%)	S1	100	100	64,63
	S2	100	100	65,80
	S3	100	100	67,41
	S4	100	100	79,71
	S5	100	100	68,46
	S6	100	100	60,87
	S7	60,48	60,48	31,74
	S8	83,04	83,04	48,53
	S9	70,42	70,42	42,34
	S10	100	100	47,54
	S11	83	83	30,10
	S12	82,76	82,76	51,86
	S13	100	100	17,61
	S14	20,23	20,23	20,18
	S15	67,85	67,85	24,11
	S16	41,34	41,34	23,86
TOTAIS		92,47	78,72	47,12

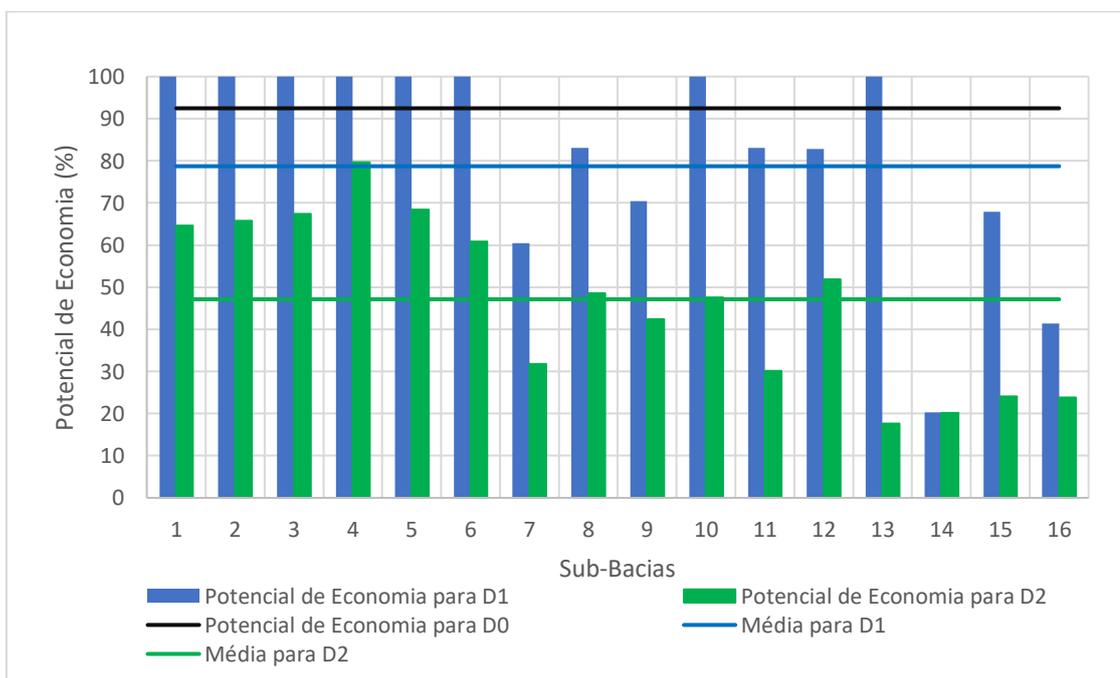


Figura 13 – Potencial de economia por sub bacia e por discretização

2.5 CONCLUSÕES

A hipótese de que a discretização espacial afeta os resultados do cálculo do PEAP pela CPT pôde ser comprovada nesse capítulo.

A discretização da área de estudo em uma única parcela de área (D0) resultou em um PEAP de 92,47%. Já para a discretização em 16 parcelas de área (D1), o potencial de economia foi de 78,72% e, para a maior discretização (D2), em 4.735 parcelas de área, o potencial de economia caiu para 47,12%.

Desse modo, ficou claro que a transferência de volumes excedentes da captação entre áreas majora os resultados de potencial de economia.

Também ficou evidenciado que existe uma relação inversa entre o PEAP por CPT e a discretização espacial. Sendo que, quanto maior a discretização espacial das áreas de CPT, menor o PEAP.

CAÍTULO 3

3 DEFINIÇÃO DE VOLUMES DE ARMAZENAMENTO PARA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS VISANDO O POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL

3.1 RESUMO

O aumento contínuo da população global intensifica a pressão sobre infraestruturas de abastecimento de água, demandando investimentos consideráveis para sua expansão e adaptação. Esse cenário ganha ainda mais complexidade à medida que as áreas urbanas crescem e as necessidades de água potável se multiplicam.

Nesse contexto desafiador, a captação pluvial em telhados (CPT) surge como uma alternativa promissora para mitigação desse problema. Essa estratégia se contrapõe à pressão exercida sobre os sistemas convencionais de abastecimento, ao possibilitar a captação e o armazenamento descentralizados de água proveniente das chuvas. Assim, a água captada pode ser reservada para uso futuro, mitigando a crescente demanda por água potável.

A CPT não apenas contribui para a segurança hídrica, como também promove a sustentabilidade ambiental, reduzindo a dependência de fontes tradicionais de água e aliviando a sobrecarga nos sistemas de captação e tratamento.

Esse capítulo teve como principal objetivo quantificar os volumes de armazenamento necessários para atingir o potencial de economia de água potável (PEAP) pela CPT, além de analisar as correlações entre déficit e excedente no balanço de volumes entre captação e consumo. Para alcançá-lo, foram analisados balanços de volume entre captação e consumo, resultando na obtenção do Ponto de Equilíbrio entre Captação e Consumo (PECC).

A partir disso, equações representativas de déficit e excedente de consumo foram formuladas, decorrendo nos volumes de armazenamento necessários.

Palavras-chave: aproveitamento de água da chuva; captação pluvial em telhados; armazenamento de água de chuva.

3.2 INTRODUÇÃO

O aumento contínuo da população mundial impõe um grande desafio aos sistemas de abastecimento de água, gerando uma pressão substancial sobre a infraestrutura existente e exigindo consideráveis investimentos para a sua expansão.

Esse cenário se intensifica à medida que as áreas urbanas crescem e as demandas por água potável se multiplicam. Contudo, em meio a esse contexto desafiador, emerge uma solução promissora: a captação pluvial em telhados (CPT).

Essa estratégia oferece um contraponto à pressão exercida sobre os sistemas convencionais de abastecimento, ao permitir a coleta e o armazenamento descentralizado dos volumes de água resultantes das precipitações. Dessa forma, a água captada pode ser armazenada, mitigando as crescentes demandas por água potável.

A CPT se destaca não apenas por sua contribuição à segurança hídrica, mas também por promover a sustentabilidade ambiental ao reduzir a dependência de fontes convencionais de água e minimizar a sobrecarga nos sistemas de captação e tratamento.

Neste contexto, esse capítulo buscou mensurar, de maneira abrangente, os volumes de armazenamento necessários para se atingir o PEAP pela CPT, como uma estratégia de gestão hídrica diante dos desafios do crescimento populacional e da crescente demanda por água potável.

Para se mensurar os volumes de armazenamento necessários, foram analisados os balanços de volume entre captação e consumo, obtendo-se um ponto de equilíbrio entre captação e consumo (PECC), de onde separam-se equações de representação de déficit e sobra de consumo, resultando nos volumes de armazenamento necessários.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Delineamento do estudo

Na [Figura 14](#) é apresentado o fluxograma de determinação dos volumes necessários ao PEAP por CPT. Partindo-se de um balanço de volumes entre a captação nos telhados e o consumo da população, obteve-se o ponto de equilíbrio entre captação e consumo. Das equações de déficit e sobra do balanço de volumes,

obteve-se os volumes de armazenamento necessários, seguindo alguns critérios descritos a diante.

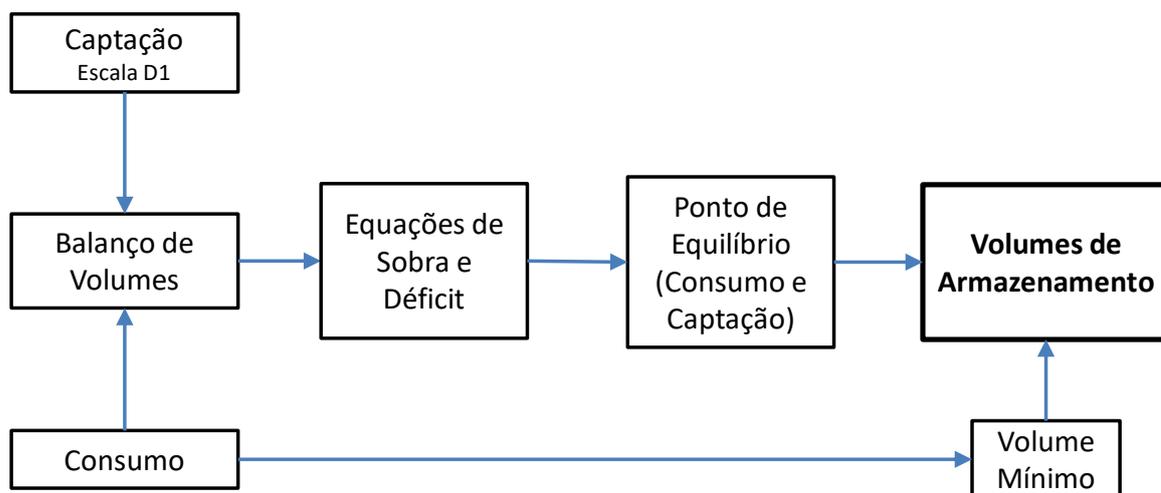


Figura 14 – Fluxograma de determinação dos volumes de armazenamento

3.3.2 Máximo potencial de economia de água potável e escala espacial

Neste estudo foi utilizada a discretização 1 (D1), apresentada no capítulo anterior, pois representa o cenário em que os dados de consumo e captação estão em mesma escala espacial e, os volumes excedentes da captação em telhados de uma sub-bacia, não são transferidos à outras sub-bacias.

Para se atingir o máximo PEAP (78,72% para D1), o volume de armazenamento de CPT deve ser suficiente para garantir o suprimento nos meses em que há déficit entre consumo e captação nos telhados. Para se chegar aos valores dos volumes necessários, foi calculado o balanço mensal (metodologia apresentada no sub-capítulo [1.3.9](#)) por sub-bacia, de onde foram extraídos os somatórios dos déficits e das sobras anuais por sub-bacia.

3.3.3 Metodologias de dimensionamento de volumes de armazenamento

O cálculo dos volumes de armazenamento para distribuição temporal, devem levar em consideração a diferença entre os tempos de captação (sazonalidade hidrológica) e tempo o tempo de consumo (sazonalidade humana), uma vez que os volumes captados ocorrem em minutos ou horas e os volumes consumidos ocorrem em meses.

Para se atingir o máximo PEAP por captação pluvial, deve-se optar pelo maior tempo de armazenamento entre consumo e captação, que neste caso é evidentemente o consumo.

Assim, o armazenamento deve suportar um volume captado suficiente para suprir o período de consumo até o próximo período de captação. No caso deste estudo, o tempo de um mês é suficiente para atender esse critério.

3.3.4 Demais metodologias

As demais metodologias tais como área de estudo, população atendida com abastecimento de água, mensuração das áreas de telhado, precipitação, volume de água pluvial aproveitável e consumo de água potável, foram apresentadas no Capítulo 1.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Balanço de volumes

Para se analisar a variação da captação mensal aproveitável ([Tabela 27](#) em anexo) contra o consumo média mensal ([Tabela 28](#) em anexo), foi calculado o balanço mensal ([Equação 12](#) do capítulo [1.3.9](#)) por sub-bacia, apresentado na [Tabela 29](#) em anexo, onde os valores negativos representam os volumes de consumo de água potável não atendidos pela captação pluvial dos telhados (déficit), e os valores positivos (sobras) representam as sobras de captação em relação ao consumo mensal por sub-bacia. Como esperado, os meses de junho e agosto não apresentaram chuvas capazes suprir as demandas das sub-bacias.

Na [Figura 15](#) foram plotados os volumes de consumo e aproveitável mensais, onde pode-se observar que os meses de novembro a março a área em estudo apresenta captação superior à demanda, enquanto nos demais meses há déficit de captação em relação ao consumo.

Na [Figura 16](#) são apresentados os volumes anuais de captação e consumo por sub-bacia, onde pode-se verificar que metade das sub-bacias apresentam captação superior ao consumo e a outra metade apresenta consumo superior à captação. Também fica evidente a necessidade de armazenamento de volumes para distribuição temporal.

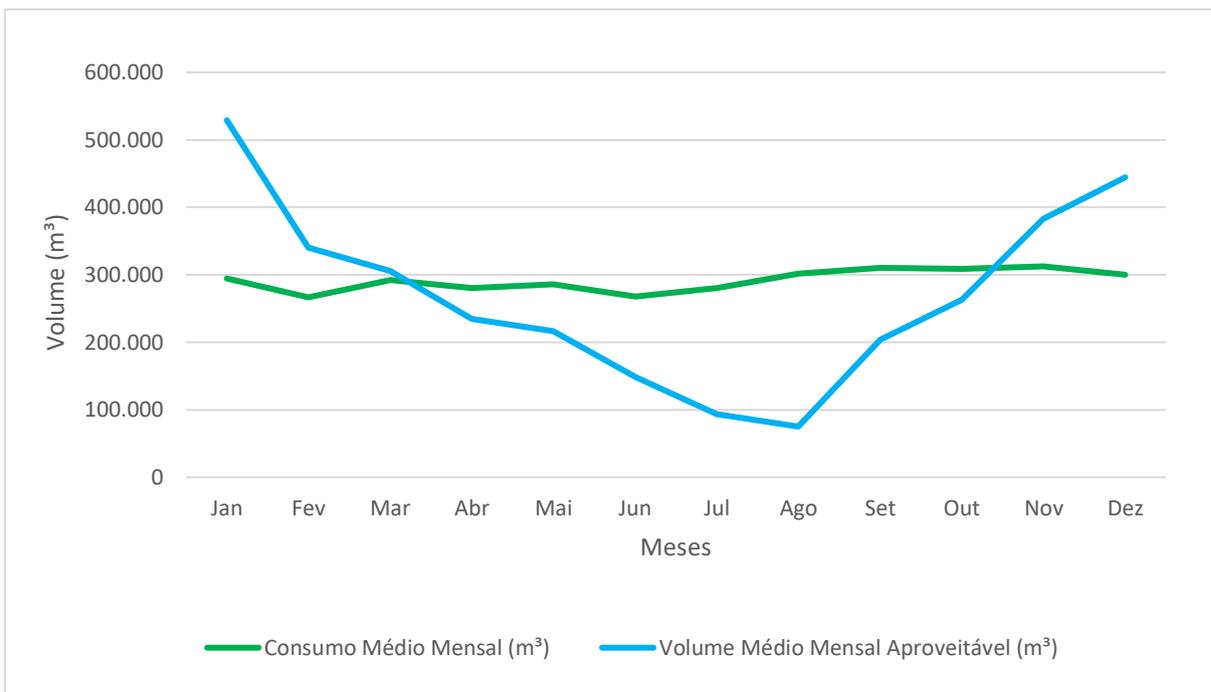


Figura 15 – Relação entre consumo e captação de água em telhados

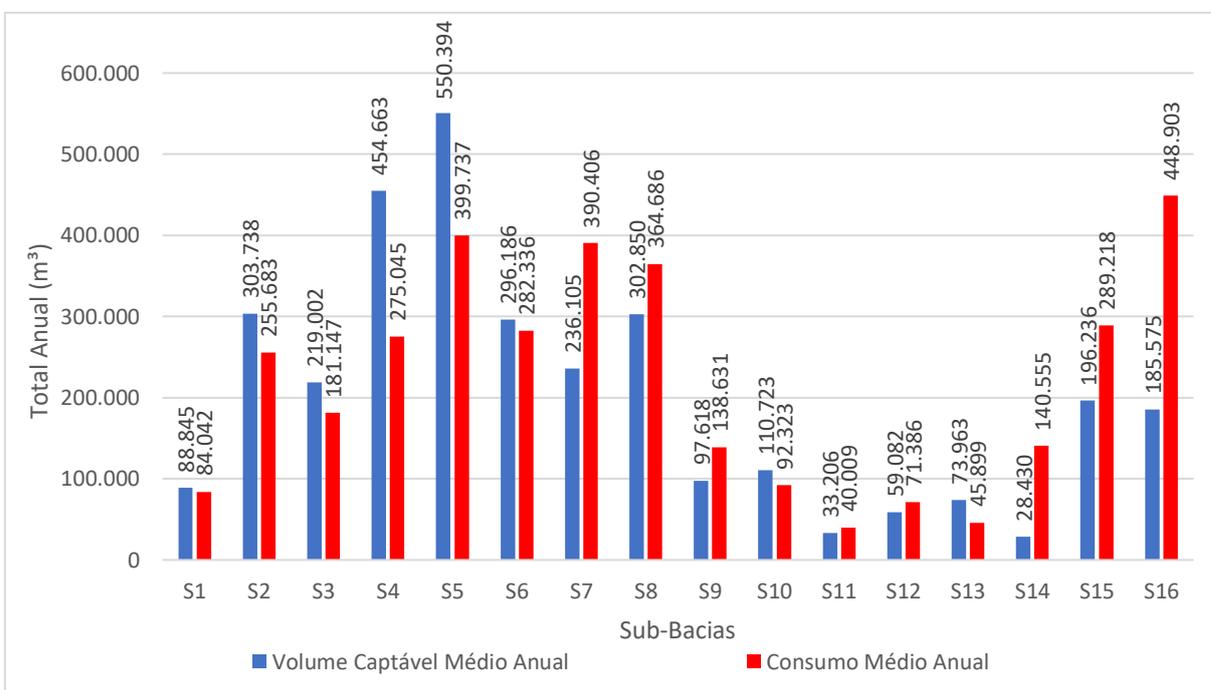


Figura 16 – Volume captável e consumo médio anual

Na [Figura 17](#) foram plotados os valores dos balanços anuais por sub-bacia, onde pode-se verificar que, das 16 sub-bacias estudadas, metade apresentam sobra em seu balanço anual e a outra metade apresenta déficit de água. As sub-bacias com sobra de volume em seu balanço apresentam potencial de economia de 100%, e as

bacias com déficit, apresentam potencial de economia menor que 100% conforme apresentado na [Tabela 13](#) do capítulo anterior.

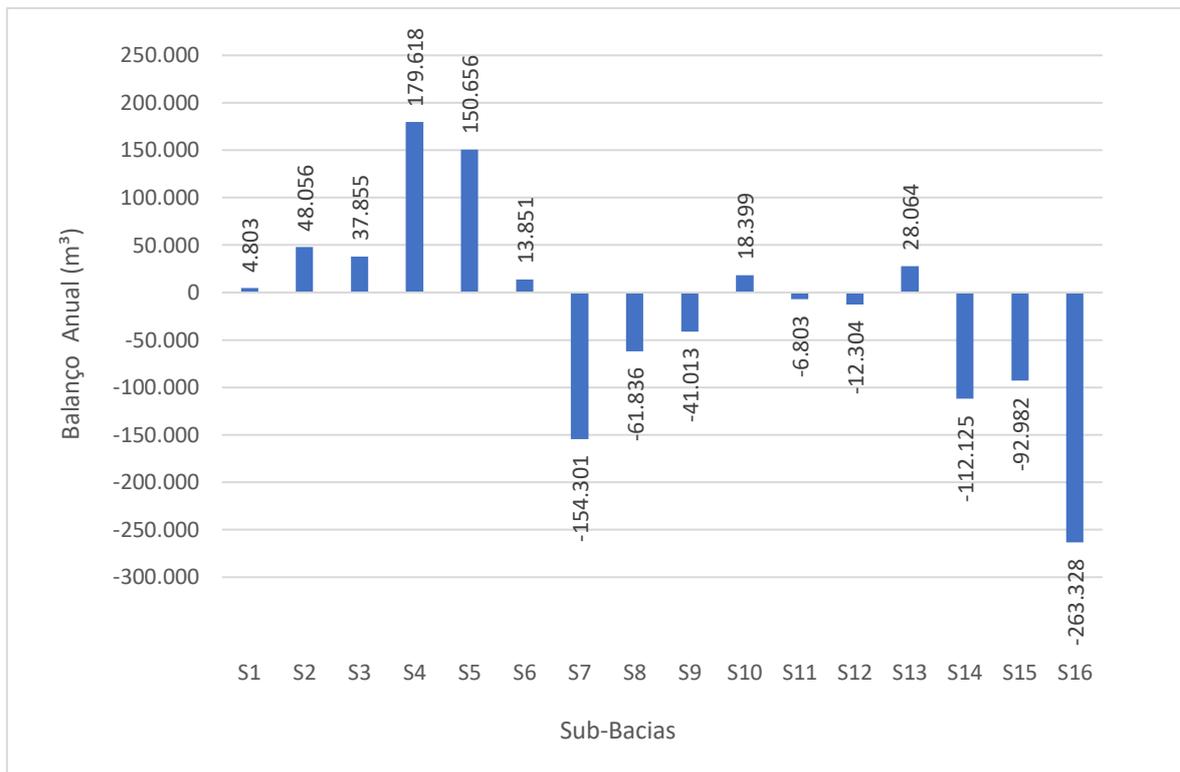


Figura 17 – Balanço anual por sub-bacia

Na [Figura 18](#) pode-se observar que, mesmo nas sub-bacias onde há balanço anual positivo, existem meses em que as chuvas não suprem a demanda. Isso pode ser verificado em detalhes na [Tabela 29](#), em anexo, onde os valores negativos de balanço estão destacados.

Portanto, mesmo nas sub-bacias onde há balanço anual positivo, o potencial máximo de economia de água potável por captação em telhados (78,72%, conforme apresentado no capítulo 2.4.5) só pode ser atingido mediante a instalação de algum tipo de reservação de água para uso futuro.

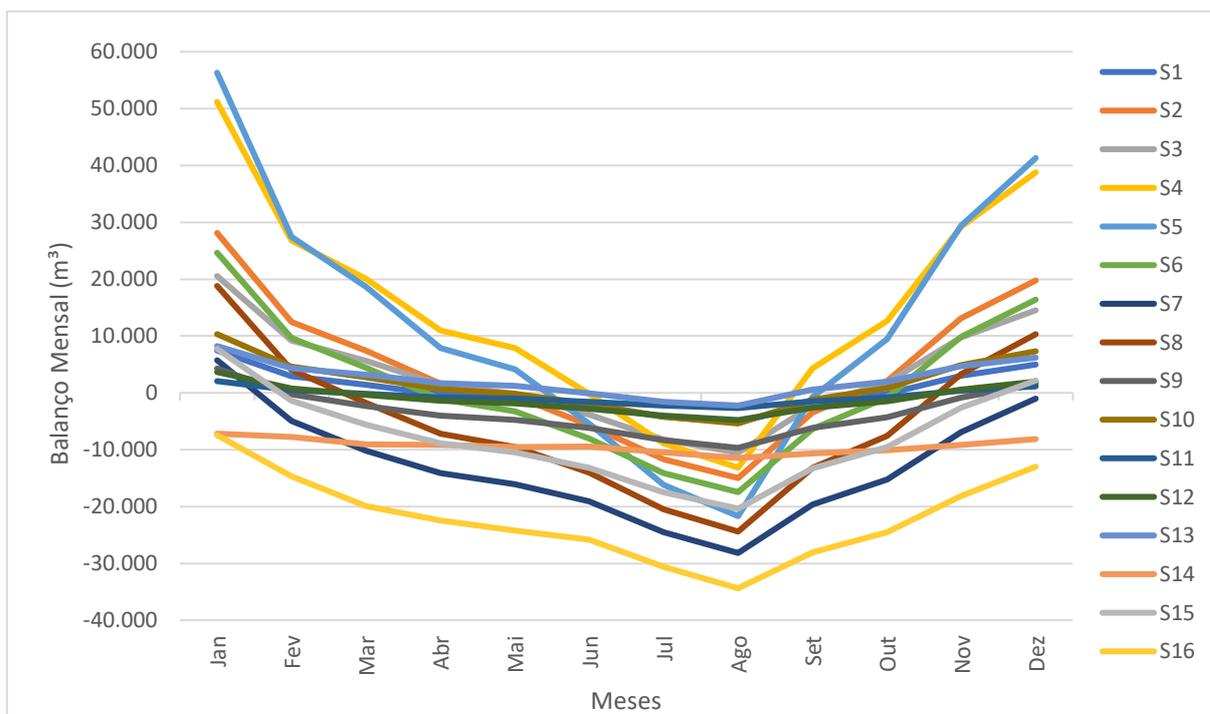


Figura 18 - Balanço mensal por sub-bacia

3.4.2 Ponto de Equilíbrio entre Captação e Consumo (PECC)

Da correlação entre área de telhado por pessoa e o balanço médio anual ([Figura 19](#)), pode-se calcular os déficits e as sobras de água potável por captação em telhados, em função da área de telhado por pessoa. Também pode-se concluir que regiões urbanas com relação área de telhado por pessoa abaixo de $54,43 \text{ m}^2/\text{pessoa}$ apresentam déficit no balanço de volume anual, ou seja, não suprem totalmente as demandas de abastecimento de água pela CPT.

Na [Tabela 29](#) em anexo, são apresentados os dados de déficit e sobras anual por sub-bacia, obtidos somando-se os balanços mensais negativos (déficit) e os balanços mensais positivos (sobras) separadamente. Assim, pode-se plotar as equações apresentadas na [Figura 20](#), que representam os volumes de sobra ou déficit anual em função da área de telhado por pessoa.

Denominaremos de ponto de equilíbrio entre captação e consumo (PECC) o cruzamento das curvas de déficits e sobras da [Figura 20](#).

O PECC ($52,20 \text{ m}^2/\text{pessoa}$ para $11,48 \text{ m}^3/\text{pessoa}$) representa o limite entre sobras e déficits. Assim, regiões urbanas onde a taxa de área de telhado por pessoa (A_{tp}) é inferior ao PECC, os volumes de sobra da captação em telhados não superam os

déficits, e em contrapartida, taxas de área de telhado por pessoa acima do PECC garantem o suprimento das demandas por abastecimento de água.

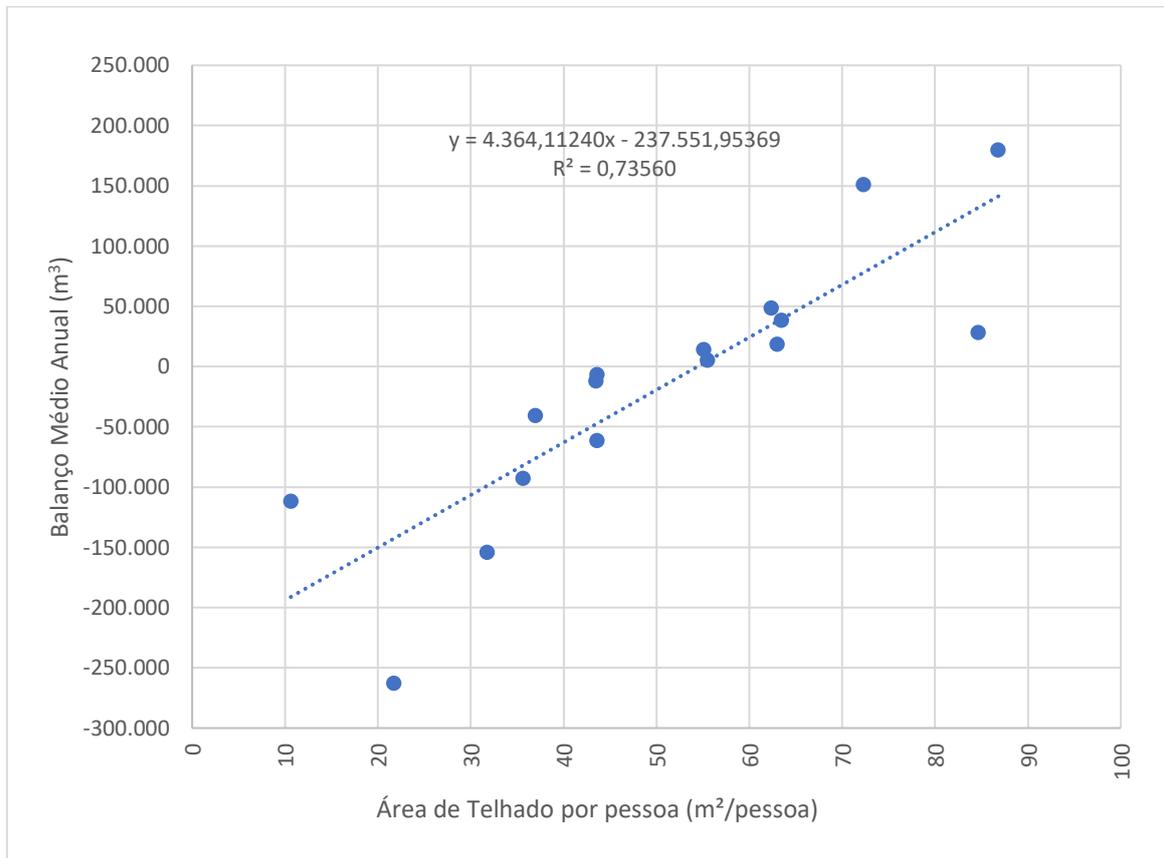


Figura 19 - Correlação entre área de telhado por pessoa e balanço médio anual

As equações apresentadas na [Figura 20](#) e o PECC podem ser utilizados para dimensionar volumes de armazenamento de CPT, com foco no máximo PEAP, e neste caso, com objetivo de suprir anualmente as demandas por abastecimento de água.

Volumes de armazenamento (V_a) de água para uso futuro, com maximização do PEAP, por CPT, pode se dar da seguinte maneira:

Para (A_{tp}) abaixo do PECC utiliza-se a equação de sobra anual por pessoa, uma vez que as precipitações não terão capacidade de suprir os volumes de déficit em função da área de captação ([Equação 11](#));

$$V_a = 0,00664 \cdot A_{tp}^2 - 0,00941 \cdot A_{tp} - 6,12420$$

Equação 11

$$\text{para } 31,76 \frac{m^3}{hab} \leq A_{tp} \leq PECC$$

Para (A_{tp}) acima do PECC utiliza-se a equação de déficit anual por pessoa, uma vez que as precipitações superam os volumes de déficit, porém não há necessidade de armazenamento acima deste valor, uma vez que as demandas não consumirão o volume armazenado ([Equação 12](#)).

$$V_a = 0,00862 \cdot A_{tp}^2 - 1,36600A_{tp} + 59,29809$$

Equação 12

para $A_{tp} > PECC$

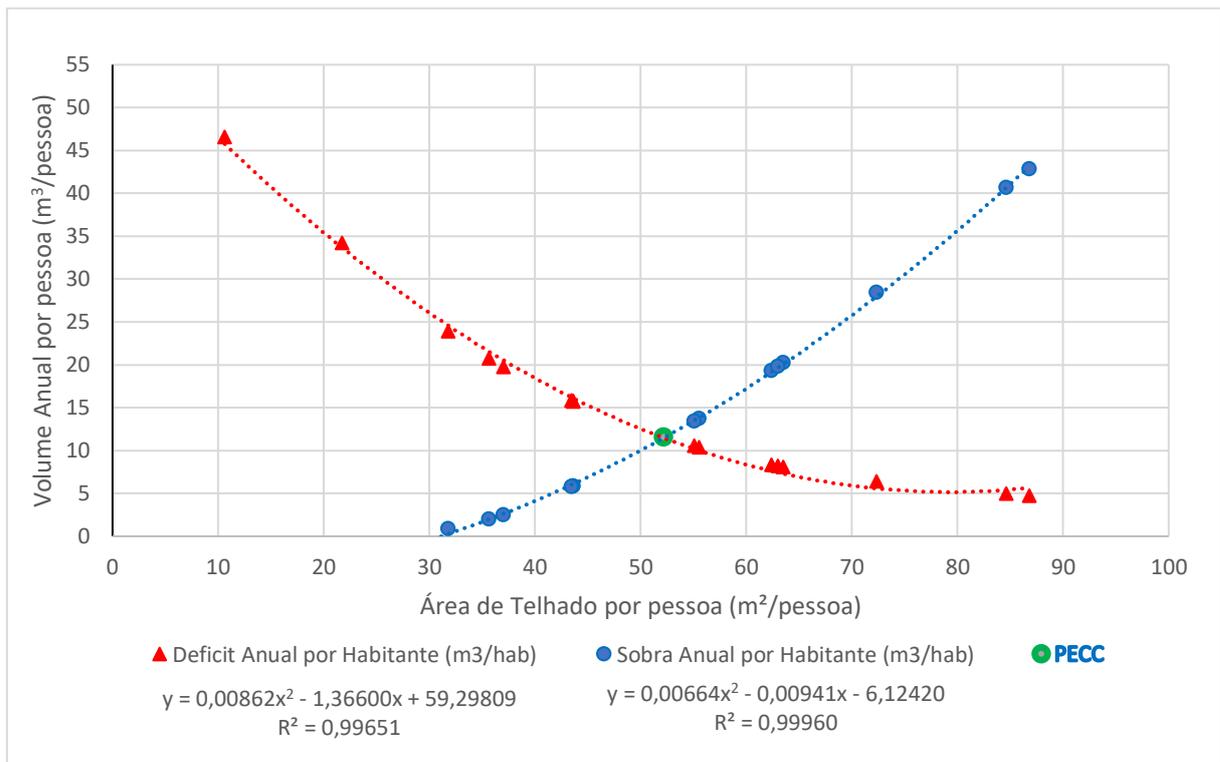


Figura 20 – Correlações de déficits e sobras com área de telhado por pessoa

3.4.3 Volumes de armazenamento

Neste ponto do estudo, sabemos que um dos critérios para se atingir o máximo PEAP por captação pluvial é que, toda área de captação deve ter um volume de armazenamento para suprir a distribuição temporal.

Também sabemos que o volume de armazenamento deve ser suficiente para captar um volume suficiente para atender à demanda de água entre ciclos de captação (tempo de estiagem ou tempo entre chuvas).

Assim, alguns critérios para o cálculo dos volumes necessários para se atingir o máximo PEAP devem ser adotados, sendo eles:

Critério 1): Um volume mínimo de armazenamento deve ser adotado para se garantir que, mesmo em sub-bacias com déficit anual em seu balanço, a máxima captação seja garantida. Assim, o volume mínimo de armazenamento a ser adotado é o maior volume mensal de consumo por sub-bacia, considerando-se o tempo de um mês para ciclo de captação.

Critério 2): Identificado o PECC, se a A_{ta} for menor que o PECC utiliza-se a sobra anual por pessoa, uma vez que as precipitações não terão capacidade de suprir os volumes de déficit em função da área de captação.

Critério 3): Identificado o PECC, se a A_{ta} for maior que o PECC utiliza-se o déficit anual por pessoa, uma vez que as precipitações superam os volumes de déficit, porém não há necessidade de armazenamento acima deste valor, uma vez que as demandas não consumirão o volume armazenado.

Aplicando-se os critérios, temos os volumes de armazenamento que propiciam o máximo PEAP, apresentados na [Figura 21](#).

Com os volumes de armazenamento que propiciam o máximo PEAP ([Figura 21](#)), a população e área de telhado em cada sub-bacia ([Tabela 10](#)) pode-se plotar os resultados de volumes de armazenamento por pessoa ([Figura 22](#)) e por área de telhado ([Figura 23](#)).

Podemos observar que, considerando toda a área de estudo, para se atingir o PEAP por captação pluvial, o volume médio de armazenamento por pessoa deve ser de 6,43 m³/pessoa, com valores variando entre 5,21 m³/pessoa e 10,56 m³/pessoa e, as sub-bacias que apresentaram valores de 5,21 m³/pessoa ([Figura 22](#)) são aquelas que se enquadraram no critério 1, apresentado anteriormente, e que neste caso, tiveram seus maiores consumos no mês de novembro.

Já o volume de armazenamento médio por área de telhado, para se atingir o PEAP por captação pluvial, deve ser de 0,1325 m³/m², com valores variando entre 0,060 m³/m² e 0,490 m³/m².

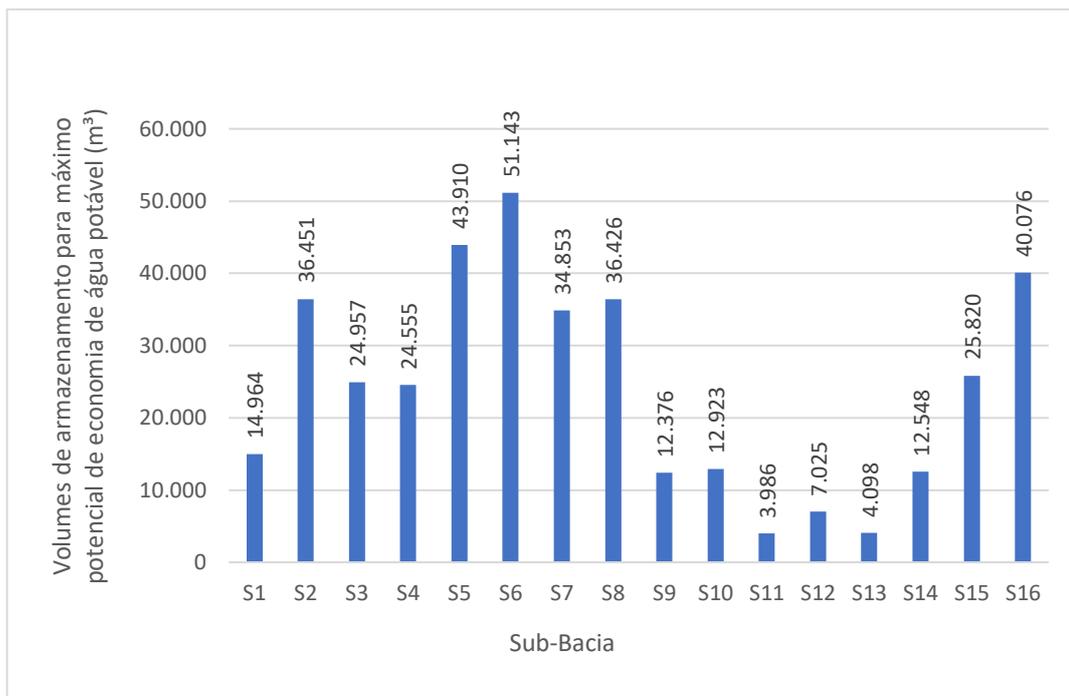


Figura 21 - Volumes de armazenamento para máximo potencial de economia de água potável

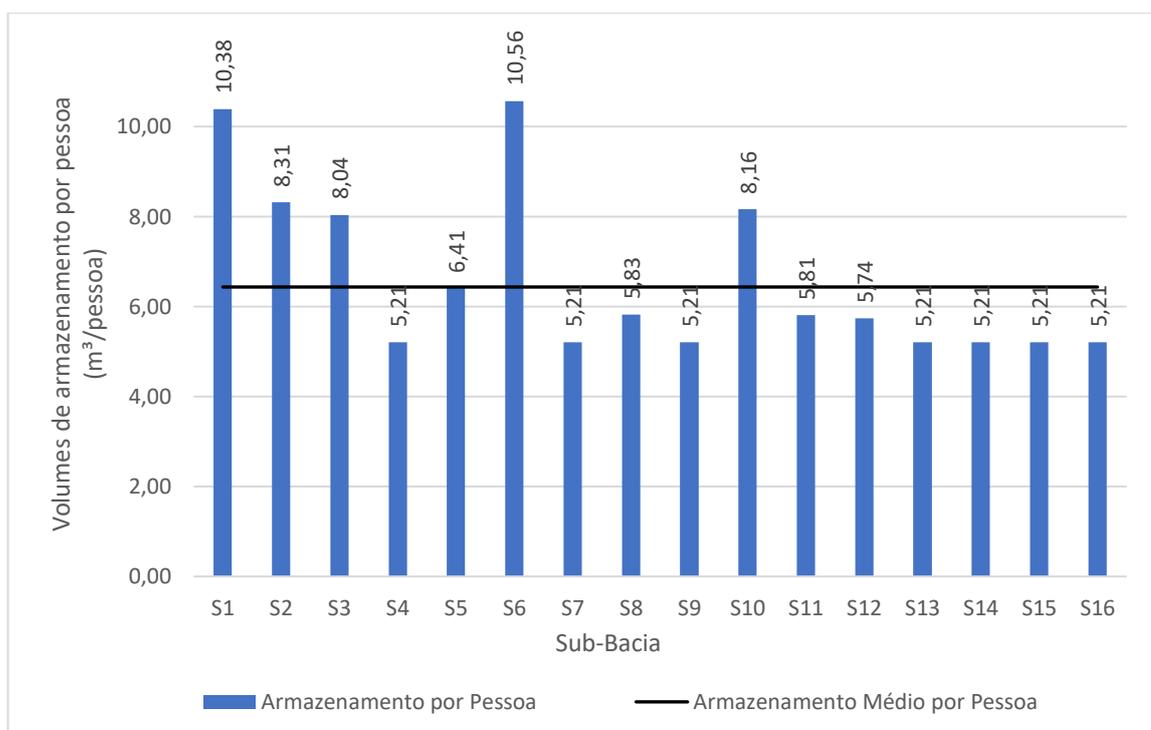


Figura 22 - Volumes de armazenamento por pessoa, para máximo potencial de economia de água potável

Outro critério para obtenção de volumes de armazenamento, que propiciem o PEAP por CPT, é o critério de curva máxima de volume de armazenamento, que pode ser adotado quando não há a possibilidade de discretização espacial da área em estudo.

Neste caso, pode-se plotar os dados de volume de armazenamento versus população ou versus área de telhado e, para se realizar a regressão, seleciona-se apenas os pontos com ordenada de valores máximos em função do avanço na abscissa.

Na [Figura 24](#) é apresentada a curva de máximo volume de armazenamento versus população e, na [Figura 25](#) é apresentada a curva de máximo volume de armazenamento versus área de telhado.

É importante ressaltar que, no caso da utilização das curvas de máximo volume de armazenamento, garante-se que o PEAP por CPT seja atingido, porém, os volumes de armazenamento serão super dimensionados na maioria das sub-bacias.

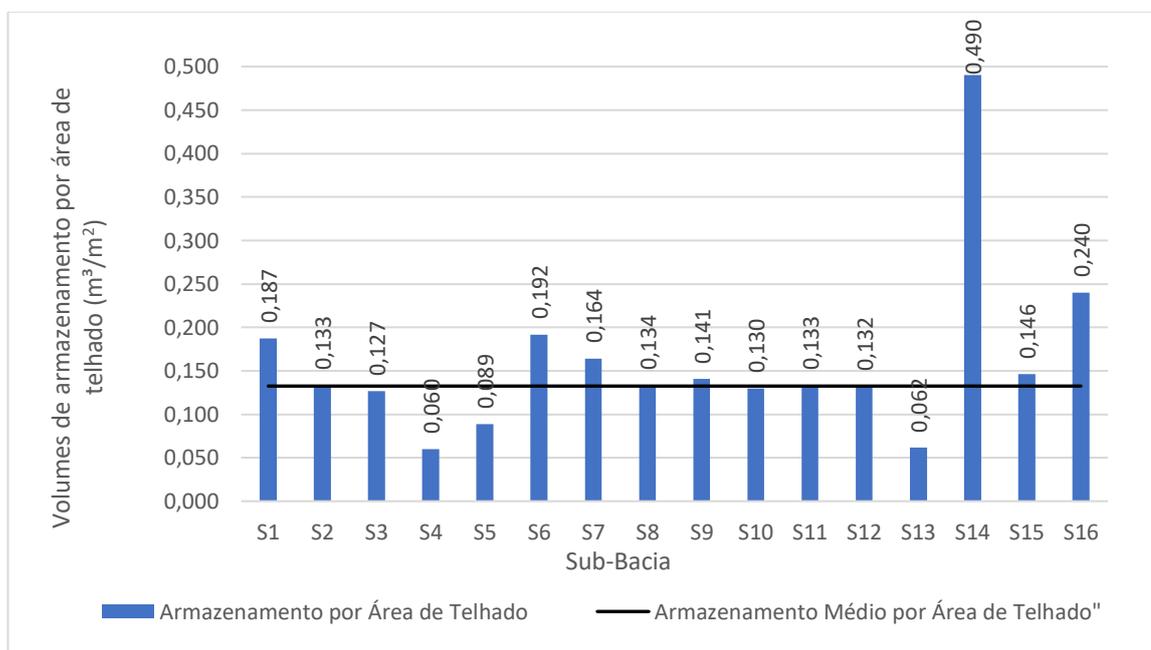


Figura 23 - Volumes de armazenamento por área de telhado, para máximo potencial de economia de água potável

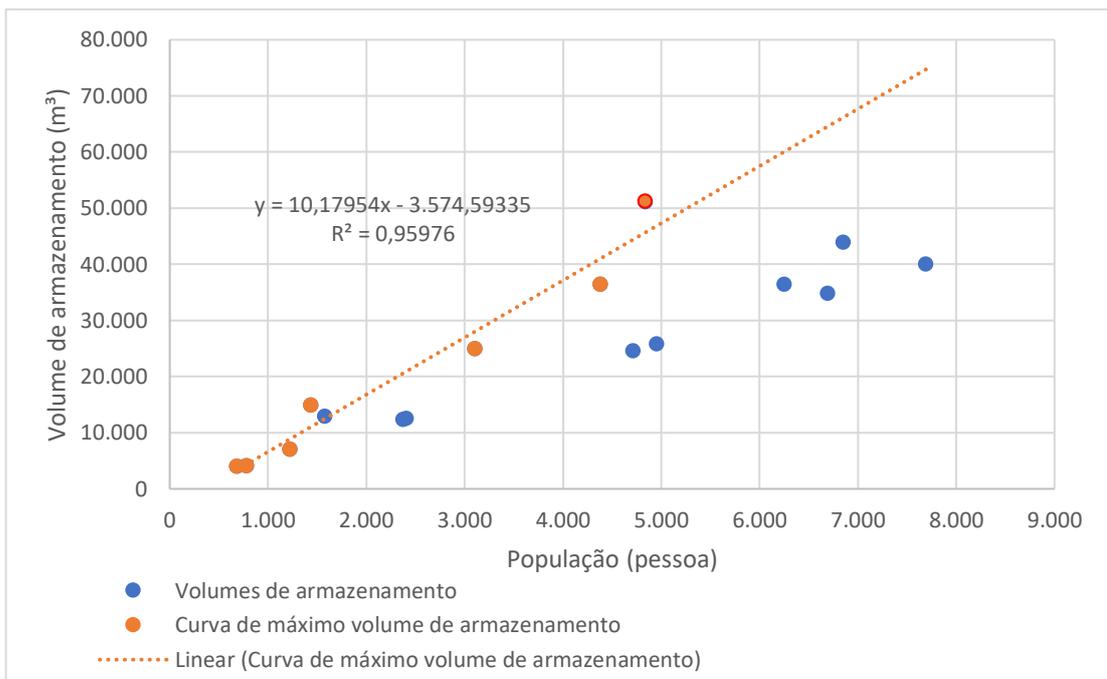


Figura 24 – Curva de máximo volume de armazenamento versus população

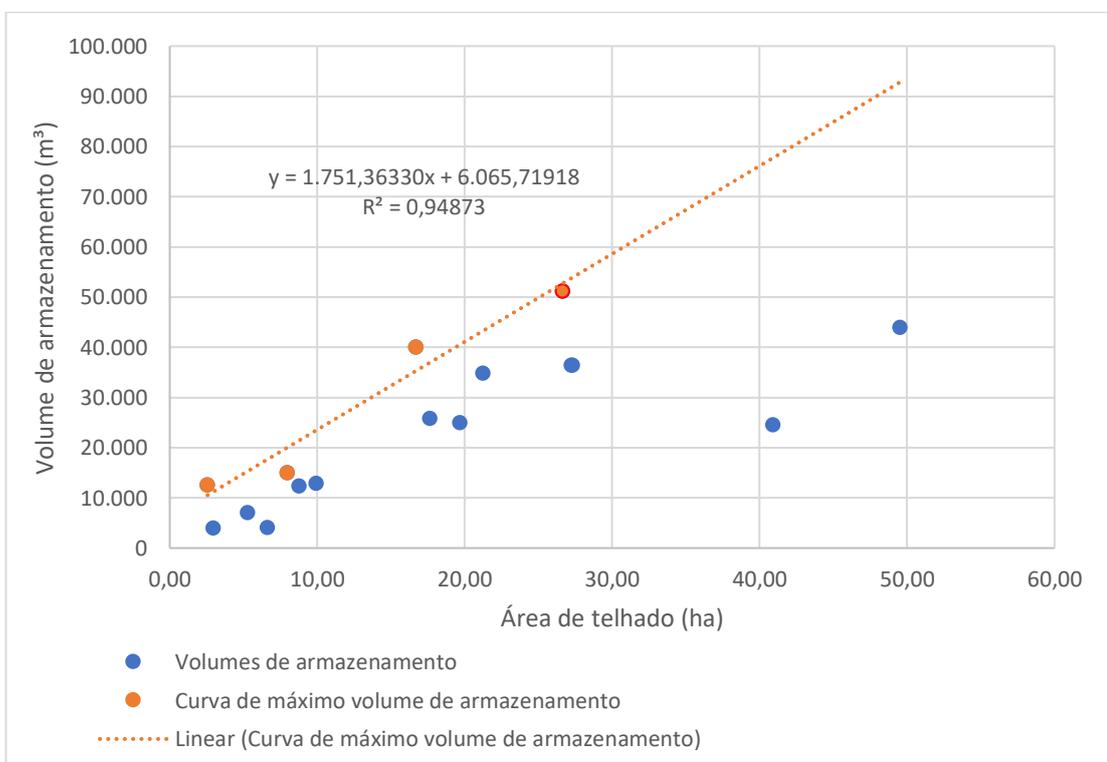


Figura 25 - Curva de máximo volume de armazenamento versus área de telhado

3.5 CONCLUSÕES

Depois da análise geral dos resultados, ficou constatado que, para se atingir o PEAP pela CPT, os volumes de chuva captados devem ser direcionados à

reservatórios cujos volumes devem suprir a demanda ao longo da espacialidade temporal entre ciclos de captação. Caso contrário, o potencial de economia não será alcançado.

Os volumes de armazenamento necessários para se alcançar o PEAP devem ser obtidos seguindo alguns parâmetros, como a relação de área mínima de telhado por pessoa, abaixo da qual a região avaliada apresentará déficit no balanço anual entre captação e consumo. Especificamente nesse estudo, a relação área de telhado por pessoa abaixo de 54,43 m²/pessoa apresentará déficit.

O ponto de equilíbrio entre captação e consumo (PECC) e as curvas de déficit e sobra anual por pessoa, podem ser utilizados como parâmetros de dimensionamento de volumes de reservação e, no caso dessa avaliação, 52,20 m² de área de telhado por pessoa para 11,48 m³ de armazenamento por pessoa, representa o PECC.

Além desses critérios, deve ser adotado um volume mínimo de armazenamento suficiente para armazenar o maior volume de consumo dos ciclos de captação.

Para se atingir o PEAP por CPT, os volumes de armazenamento necessários representam uma taxa de 6,43 m³/pessoa, sendo equivalente ao armazenamento de 40,35 dias de consumo. A taxa de volume de armazenamento por área de telhado é de 0,1325 m³/m².

No capítulo 1, foi obtida uma taxa necessária de volume de armazenamento de 8,94 m³/pessoa, sendo 39,03% superior à obtida nesse capítulo, corroborando com os resultados do capítulo 2, sobre a influência da discretização espacial na mensuração do PEAP pela CPT. Já a taxa necessária de volume de armazenamento por área de telhado do capítulo 1 (0,1841 m³/m²) foi 38,94% superior.

Assim, mesmo com um PEAP promissor de 78,72%, a necessidade de grandes volumes de armazenamento (6,43 m³/pessoa), aliada à necessidade de implantação desses volumes em todas as áreas de captação, torna o cenário do PEAP por CPT, pouco provável de ser alcançado.

CAPÍTULO 4

4 INFLUÊNCIA DE VOLUMES DE ARMAZENAMENTO DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS NA DRENAGEM URBANA

4.1 RESUMO

O objetivo central deste capítulo é investigar, de forma abrangente, os efeitos do amortecimento de volumes da captação pluvial em telhados (CPT) na drenagem urbana, visando compreender até que ponto o amortecimento dos volumes captados nos telhados pode influenciar o escoamento na macrodrenagem.

Esse trabalho também desempenha um papel importante ao abordar uma área de pesquisa pouco explorada, ao considerar a utilização de volumes de consumo de água potável da população, como variável de determinação de volumes de armazenamento, utilizados como volumes de amortecimento.

Essa abordagem possibilitou uma análise minuciosa dos efeitos decorrentes da incorporação da CPT no contexto da drenagem urbana.

A avaliação dos efeitos do amortecimento dos volumes coletados nos telhados foi conduzida por meio de simulações no modelo *Storm Water Management Model* (SWMM) utilizando barris de chuva. Nesse processo, foram testados volumes que mantiveram proporções com o consumo de água potável. O estudo abrangeu uma variação de zero a cem dias de equivalência de consumo, como volumes de amortecimento pluvial de telhados, para 11 diferentes chuvas sintéticas, resultando em um total de 1.111 simulações. A partir desses resultados, foi possível analisar o potencial de redução nos hidrogramas, considerando os volumes de consumo de água potável como fator de amortecimento.

A análise dos dados de simulação conferiu uma maior compreensão sobre como a capacidade de amortecimento da CPT pode influenciar a macrodrenagem urbana. As análises resultantes fornecem *insights* valiosos sobre como a CPT, quando considerada em termos de consumo de água potável, pode contribuir para a mitigação dos picos de vazão volumes escoados e, por conseguinte, auxiliar na gestão sustentável dos recursos hídricos em contextos urbanos.

Embora os resultados tenham revelado uma influência positiva do amortecimento da CPT, na redução do escoamento superficial, tanto nos picos de vazão quanto nos volumes escoados em áreas urbanas, foi constatado que o

amortecimento da CPT não é suficiente para recuperar a capacidade de escoamento de pico de vazão do sistema de drenagem pluvial urbano, perdida pelo aumento da impermeabilização do solo.

O limite de recuperação é representado pelos pontos de Volume Final de Amortecimento (VFA) para Pico (P) de vazão (VFA-P) e para volume (V) escoado (VFA-V) e, pelas Curvas de Volume Final de Amortecimento (CVFA) para Pico (P) de vazão (CVFA-P) assim como para Volume (V) escoado (CVFA-V).

Assim, é importante reconhecer que essas estratégias devem ser complementadas por outras medidas na gestão integrada das águas pluviais urbanas.

Palavras-chave: desenvolvimento de baixo impacto; escoamento superficial; captação pluvial em telhados; stormwater management model (SWMM).

4.2 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, os projetos de infraestrutura urbana têm privilegiado a adoção de pavimentos e coberturas impermeáveis, assim como a canalização da micro e macro drenagem, resultando em uma concentração de vazões, aumento de velocidades e volumes de escoamento superficial. Essas ações têm acarretado prejuízos significativos aos municípios, na forma de inundações.

Devido à implementação já consolidada da infraestrutura urbana na maioria das localidades, os custos associados a adaptações para aumentar a permeabilidade ou a capacidade de escoamento da drenagem são substanciais. Adicionalmente aos desafios enfrentados com a drenagem convencional, grandes centros urbanos lutam para garantir um suprimento adequado de água potável, uma vez que a captação e a distribuição estão distantes. Nesse contexto, é paradoxal constatar um excesso de água de chuva causando inundações e, ao mesmo tempo, uma falta de água para abastecimento, sugerindo que tais problemas poderiam ser mitigados por meio da eficiente aplicação de técnicas de amortecimento e captação de água de chuva para uso futuro.

Portanto, a exploração cuidadosa dessas técnicas apresenta-se como uma abordagem promissora para enfrentar os desafios atuais e futuros relacionados ao manejo sustentável de recursos hídricos urbanos.

Os estudos relacionados às bacias de amortecimento focam na construção de um grande volume de detenção, estrategicamente localizado na macrodrenagem, para receber uma considerável quantidade de água em um curto intervalo de tempo.

Esse volume de chuva é liberado após os picos de vazão e volume. No entanto, o aproveitamento efetivo da água da bacia de detenção enfrenta algumas dificuldades. Primeiramente, a qualidade da água de primeira descarga é baixa, carregando elevadas cargas de poluentes, conforme quantificado por Kim et al. (2007), o que implica em custos adicionais com o tratamento da água. Além disso, o transporte do grande volume de água até as estações de tratamento e distribuição apresenta desafios, pois geralmente essas estações estão localizadas a uma grande distância da detenção.

Por outro lado, a captação e o armazenamento pluvial em telhados oferecem uma abordagem promissora para reduzir o escoamento superficial e amenizar os problemas de abastecimento de forma descentralizada. Essa solução pode mitigar

questões relacionadas à quantidade de água disponível e à distância entre a captação e o consumo. Com o potencial de aplicação descentralizada, o sistema de CPT surge como uma alternativa a ser investigada para melhorar o manejo dos recursos hídricos urbanos, contribuindo para a sustentabilidade e resiliência das cidades.

Alguns estudos de micro escala, em unidades prediais, como os de Zhang et al. (2012) e Kim et al. (2015), sugerem que a implementação de sistemas de captação pluvial em nível predial resulta em uma redução significativa da descarga final em sistemas de drenagem urbana em macro escala. Essa redução é atribuída à diminuição do volume de escoamento superficial na unidade predial analisada, indicando o potencial da CPT como uma solução eficaz para melhorar o gerenciamento sustentável de recursos hídricos urbanos em larga escala.

Outros estudos adotaram abordagens integradas para investigar o uso de volumes de armazenamento pluvial em telhados, considerando tanto o aproveitamento futuro da água captada quanto a avaliação da redução do escoamento superficial. Exemplos relevantes incluem os trabalhos de Sample et al. (2013), Sample e Liu (2014), Campisano e Modica (2016) e Cahyono (2022).

No entanto, essas investigações também se concentraram em análises pontuais, realizadas em unidades prediais, com o objetivo de avaliar os efeitos no local (*on-site*). Embora essas pesquisas tenham fornecido informações valiosas sobre os benefícios da CPT em nível predial, ainda há uma carência de estudos abrangentes que analisem o impacto dessas intervenções em escala mais ampla, como em bairros ou mesmo em nível de bacia hidrográfica.

Portanto, é de fundamental importância considerar a hipótese da transferência dos efeitos de redução do escoamento em unidades prediais para a macrodrenagem, levando em conta os efeitos hidrológicos bem conhecidos, tais como o amortecimento dos picos de vazão e dos volumes escoados sob efeito da retenção dos volumes de chuva armazenados.

Além disso, é essencial investigar os possíveis efeitos na sincronização ou dessincronização de picos de vazão e volumes escoados ao longo da macrodrenagem e entre sub-bacias, aspectos que não foram analisados nos estudos anteriormente mencionados. Abordar essa perspectiva mais ampla permitirá uma compreensão mais abrangente dos impactos da CPT em escala macro, fornecendo subsídios cruciais para o desenvolvimento de estratégias efetivas e sustentáveis de manejo de águas pluviais em áreas urbanas.

Neste contexto, o objetivo central desse capítulo é investigar, de forma abrangente, os efeitos da CPT no sistema de macrodrenagem urbana. O estudo visa compreender até que ponto o amortecimento dos volumes captados nos telhados pode influenciar o escoamento na macrodrenagem.

Esse trabalho também preenche outra lacuna de pesquisa, ao considerar a utilização de volumes de consumo de água potável da população, como variável de determinação de volumes de armazenamento, utilizados como volumes de amortecimento. Essa abordagem possibilitou analisar os efeitos da implementação de CPT na macrodrenagem urbana.

Assim, além de testar o efeito do incremento dos volumes de amortecimento na macrodrenagem, foi possível estabelecer correlações entre CPT, volumes de amortecimento, aproveitamento de água de chuva e economia de água potável, em hidrogramas de bacias hidrográficas urbanas.

Com essa abordagem, os resultados obtidos poderão subsidiar a tomada de decisões de planejadores urbanos e profissionais envolvidos no desenvolvimento de medidas para aprimorar o manejo das águas pluviais urbanas.

4.3 METODOLOGIA

4.3.1 Delineamento do estudo

Barris de chuva, também conhecidos como cisternas, são sistemas de captação e armazenamento de água pluvial que coletam a água que esco dos telhados durante chuvas. O funcionamento desses dispositivos é relativamente simples e eficiente. Quando a chuva cai no telhado, a água é coletada pelas calhas e é conduzida para o barril de chuva, conforme apresentado na [Figura 26](#).

Esses volumes de armazenamento se enquadram no termo *LID (Low Impact Development)*, ou desenvolvimento de baixo impacto, que faz referência a um conjunto de práticas e estratégias de planejamento urbano e gestão de águas pluviais que buscam minimizar os impactos negativos do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico natural. O uso de *LID* envolve a implementação de medidas de controle de águas pluviais de forma espacialmente descentralizada, visando reduzir a quantidade de escoamento superficial e o transporte de poluentes para os corpos d'água.

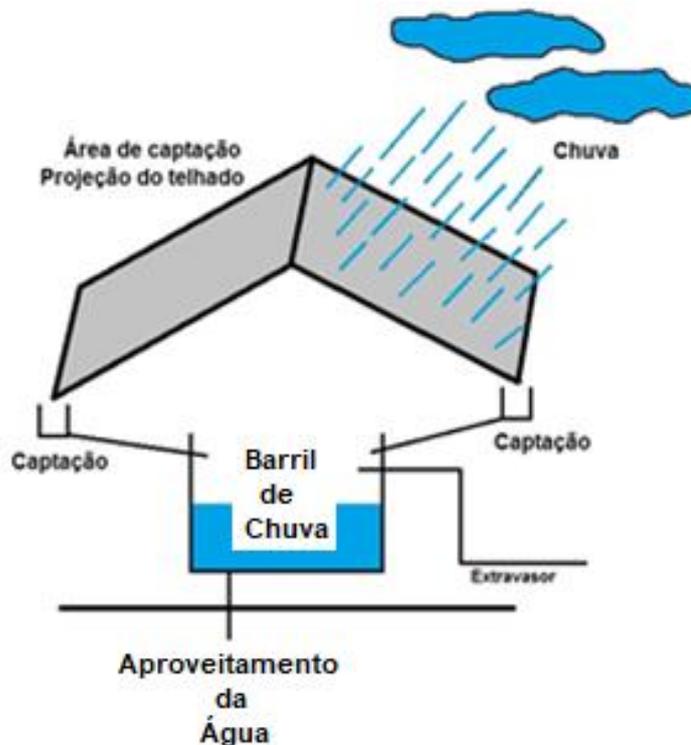


Figura 26 – Esquema da captação e armazenamento pluvial simulado

Neste capítulo, foi adotado um cenário hipotético geral, em que todos os telhados são dotados de um barril de chuva, onde os efeitos de amortecimento dos barris de chuva, foram testados com volumes proporcionais ao consumo de água potável, variando de zero a cem dias de equivalência de consumo, como volumes de amortecimento pluvial de telhados, para 11 chuvas de projeto, resultando em 1.111 simulações, sendo possível analisar o potencial de redução dos hidrograma, em função dos volumes de consumo água potável, conforme esquematizado na [Figura 27](#).

Foram analisados os picos de vazão e volumes escoados para várias chuvas de projeto, sob a influência de volumes de amortecimento proporcionais ao consumo de água potável na área de estudo. O modelo SWMM foi utilizado para simular a reservação da água captada nos telhados, pela utilização da ferramenta de barril de chuva em seu módulo de desenvolvimento de baixo impacto (*LID*), conforme fluxograma apresentados na [Figura 28](#).

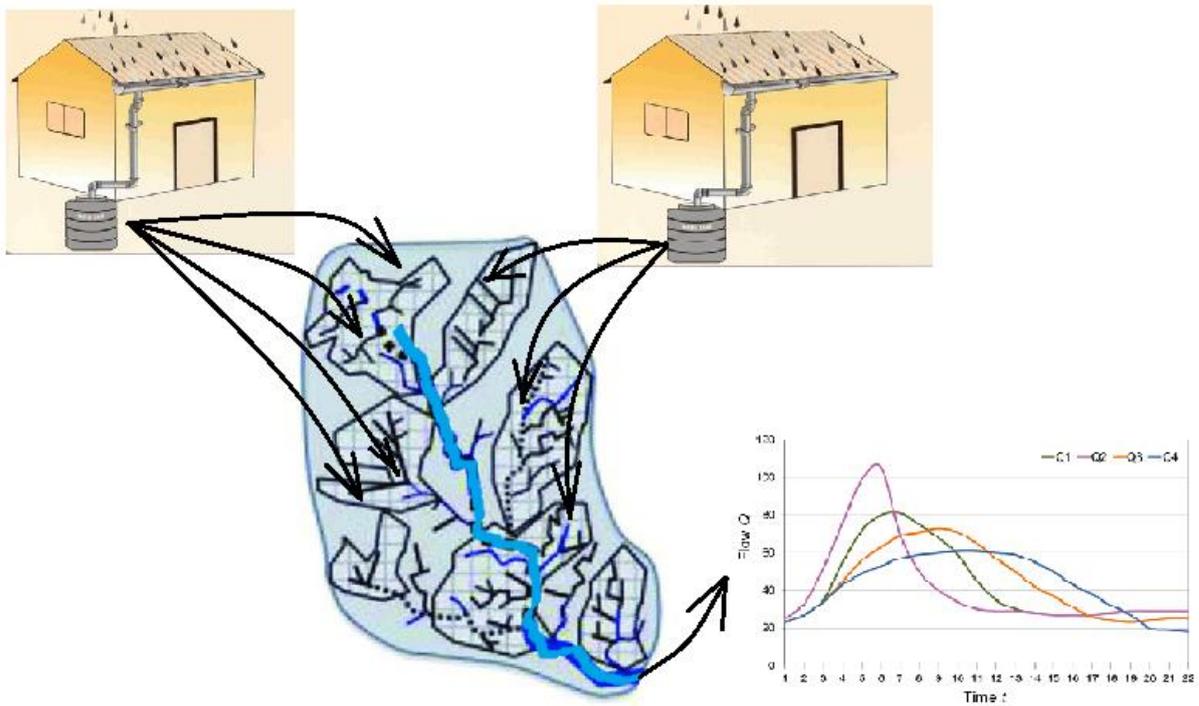


Figura 27 – Esquema de propagação dos efeitos das cisternas nos hidrogramas

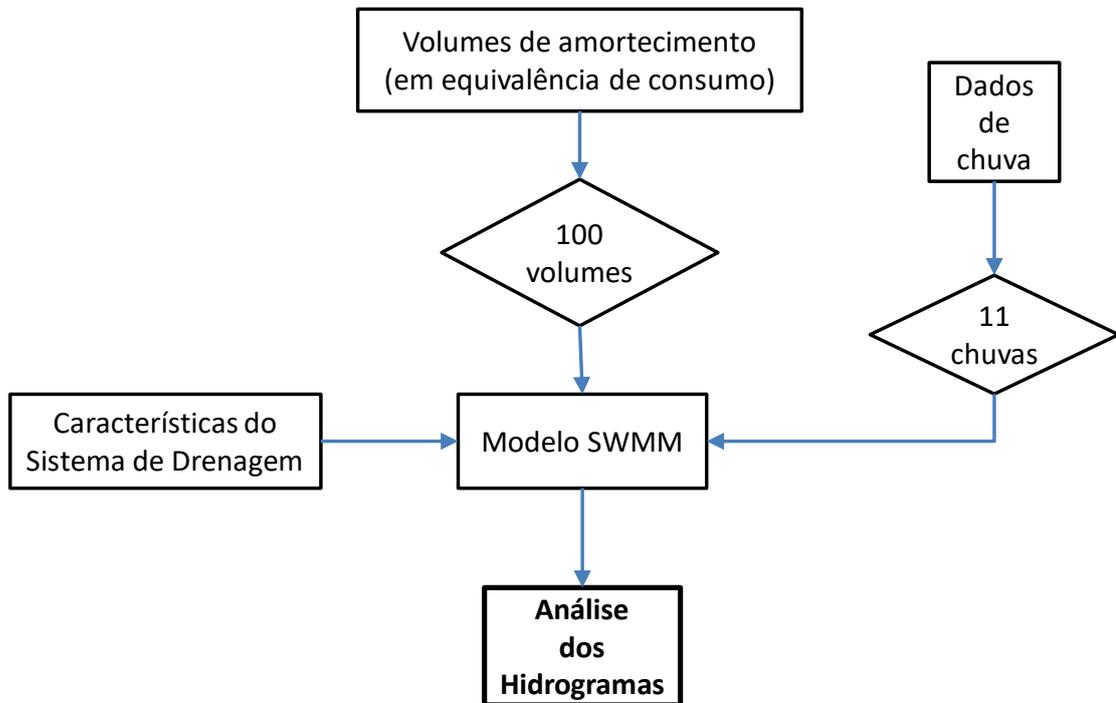


Figura 28 – Fluxograma das simulações

4.3.2 Modelagem hidrológica

Neste estudo, o modelo hidrológico-hidráulico Storm Water Management Model (SWMM, versão 5.1.013) (James et. al, 2008) foi escolhido para simular a influência de volumes de armazenamento da CPT, na drenagem urbana.

O SWMM é uma ferramenta computacional amplamente utilizada para simular o comportamento do escoamento de águas pluviais em áreas urbanas, é possível avaliar o desempenho de diferentes técnicas de *LID*. Essas técnicas podem incluir a instalação de telhados verdes, pavimentos permeáveis, bacias de retenção, retenção de chuvas de telhados, entre outras soluções. A simulação hidrológica com o SWMM permite avaliar o impacto dessas medidas na redução do volume de escoamento, no atraso de pico de enchentes, dentre outros.

Para gerar o escoamento superficial, o componente hidrológico do SWMM trabalha em sub-bacias, requerendo dados de entrada como precipitação e propriedades das sub-bacias, como área de drenagem, comprimento e largura do fluxo, declividade e impermeabilização. Cada superfície de sub-bacia é tratada como um reservatório não linear, onde o escoamento de cada sub-bacia provém da precipitação ou de outra sub-bacia a montante, existindo a possibilidade de várias saídas para o escoamento, incluindo infiltração, evaporação e escoamento superficial. Cada sub-bacia possui uma capacidade máxima de armazenamento de depressão, e a infiltração pode ser estimada pelos métodos de Green-Ampt, curva número de conservação do solo (SCS-CN) ou método de Horton.

O componente hidráulico propaga esse escoamento através de um sistema de tubulações, canais, pontes, reservatórios, bombas e reguladores. O módulo de vazão inclui métodos de fluxo constante, cinemático e de onda dinâmica, e ambos os métodos empregam a equação de Manning para relacionar a profundidade do escoamento à vazão.

O SWMM possui um editor para simulação de retenção de sistemas de captação pluvial, sendo utilizado em vários estudos, para avaliação dos efeitos da utilização de *LIDs*, a exemplo de [Zanandrea e Silveria \(2018\)](#) e [Wu, Yang e Song \(2018\)](#).

Neste estudo o editor de *LID* de barril de chuva, foi utilizado para simular os efeitos da variação de volumes de armazenamento de captação pluvial de telhados, nos hidrogramas resultantes de uma bacia hidrográfica urbana.

Neste estudo a área de estudo foi subdividida em 16 sub-bacias (S1 a S16), que representam as bacias de planejamento utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campo Grande-MS, com aproximadamente 15 km de extensão de curso d'água urbano, detalhados em 519 seções transversais topobatimétricas, a exemplo das seções apresentadas na [Figura 29](#), utilizadas neste estudo.

Uma variação de zero a cem dias de consumo de água potável, foi utilizada como volumes de amortecimento em várias chuvas de projeto, e dessa forma foi possível analisar o potencial de redução dos hidrogramas resultantes, em função dos volumes de consumo água potável.

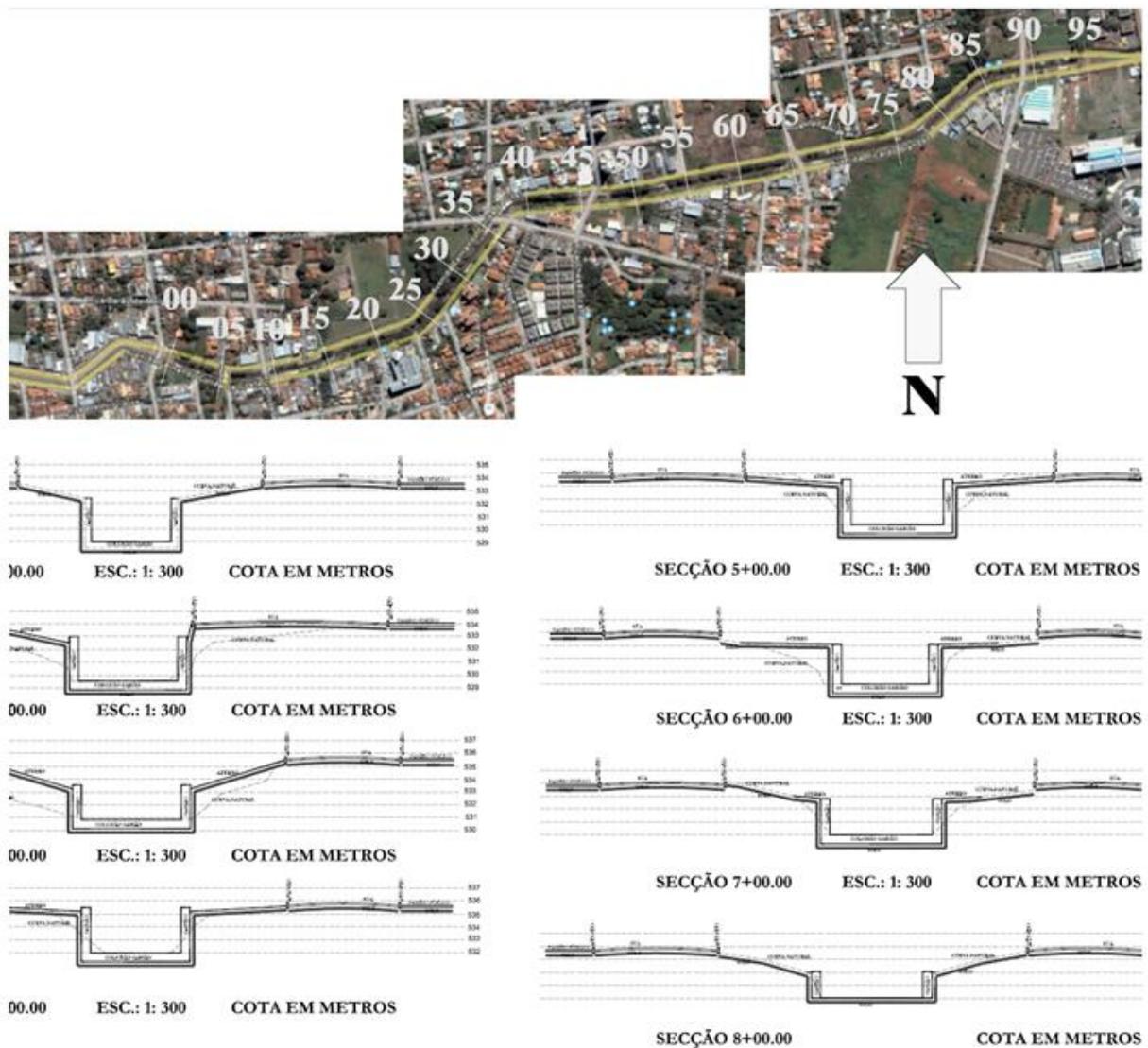


Figura 29 – Exemplos de topobatimetria de seções utilizadas neste estudo

4.3.3 Calibração e Avaliação do Modelo

O calibrador automático multiobjetivo desenvolvido por [Shinma \(2011\)](#) e [Shinma e Reis \(2011\)](#) foi utilizado para calibração da bacia no SWMM. Esse calibrador foi desenvolvido para utilizar o método de otimização multiobjetivo Non Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA II) com elitismo controlado. O código computacional foi escrito para uma versão anterior à versão do SWMM utilizada neste estudo. Assim o código de Shinma (2011) e Shinma e Reis (2011) foi transcrito para linguagem Python adaptada à versão 5.1.013 do SWMM, utilizada neste estudo.

O novo calibrador, escrito em Python, coleta os resultados no SWMM em seu arquivo de resultados (.rpt), executa o algoritmo do NSGAII e retorna novos dados de entrada para o arquivo de entrada do SWMM (.ini), realizando essas interações até que a calibração seja atingida, conforme apresentado de forma esquemática na [Figura 30](#).

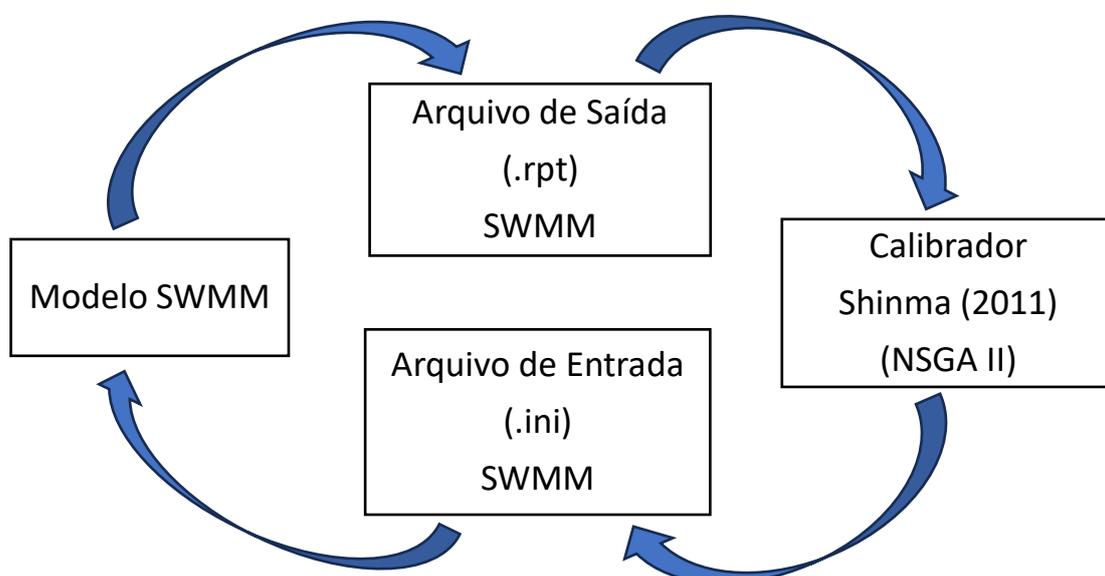


Figura 30 – Interação do calibrador com o SWMM

Para a calibração, as estimativas iniciais das características das sub-bacias, tais como: largura, comprimento, armazenamento em depressões, coeficiente de rugosidade e parâmetros de infiltração, foram baseadas em [Mattos et al. \(2021\)](#) que estudaram a mesma região.

O modelo foi calibrado e validado com dados de vazão e precipitação monitorados entre maio de 2015 e fevereiro de 2016 na Bacia do Prosa (BP). Dentre esses dados, foram escolhidos dois eventos de chuva para calibração e três eventos

para validação, seguindo alguns trabalhos prévios de modelagem ([Wu et al., 2013](#); [Palla e Gnecco, 2015](#); Wu et al., 2018; Zanandrea e Silveira, 2018).

As funções F1, F5 e F7 ([Equação 13](#), [Equação 14](#), [Equação 15](#)) de Shinma (2011), foram utilizadas como funções objetivos na calibração.

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - Q_{sim_i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs_i} - \bar{Q})^2} \quad \text{Equação 13}$$

$$F_5 = \left| \frac{Qp_{sim} - Qp_{obs}}{Qp_{obs}} \right| \quad \text{Equação 14}$$

$$F_7 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_{obs_i} - Q_{sim_i}}{Q_{obs_i}} \right)^2 \quad \text{Equação 15}$$

onde: Q_{obs_i} : vazão observada no final do passo de tempo i (m^3/s ou ft^3/s); Q_{sim_i} : vazão simulada no final do passo de tempo i (m^3/s ou ft^3/s); \bar{Q} : média das vazões observadas (m^3/s ou ft^3/s); N : número de intervalos de tempo do evento analisado; Qp_{obs} : vazão de pico observada (m^3/s ou ft^3/s); Qp_{sim} : vazão de pico simulada (m^3/s ou ft^3/s).

Para o processo de calibração, foram adotadas as seguintes especificações:

- Tamanho da população inicial: 100 soluções;
- Probabilidade de recombinação: 0,75. Segundo [Deb \(2001\)](#), deve estar na faixa de 0,5 e 1,0;
- Probabilidade de mutação: 0,15. Segundo Deb (2001), esse valor deve estar na faixa de 0 e $1/\text{número de parâmetros a serem calibrados}$.
- Número máximo de iterações: 200.

4.3.4 Chuvas de Projeto

Para avaliar a influência de volumes de armazenamento da CPT, na drenagem urbana, utilizamos várias chuvas de projeto, obtidas pelo método dos blocos alternados, todas baseadas na curva de intensidade, duração e frequência do local estudado.

Foi adotada uma faixa de variação de períodos de retorno (T_r) de alta a baixa frequência, com períodos de retorno entre 0,01 e 100 anos. Já a duração das chuvas adotada foi de uma hora, seguindo o que foi realizado no Plano Diretor de Drenagem (Campo Grande-MS, 2008) do município.

4.3.5 Volumes de amortecimento

Como forma de correlacionar um possível cenário de aproveitamento dos volumes de chuva captados em telhados, os volumes de amortecimento testados neste estudo, são proporcionais aos volumes de água potável consumidos diariamente pela população das sub-bacias.

Para analisar a correlação do potencial de CPT, para economia de água potável, nos hidrogramas resultantes da drenagem urbana, adotou-se uma faixa de volumes de amortecimento, que representam a variação de consumo de água potável de 1 a 100 dias pela população de cada sub-bacia.

Assim, os volumes de amortecimento testados nas chuvas de projeto, representam os efeitos de redução do escoamento superficial, pela possibilidade do uso dos volumes de armazenamento de água de chuva em telhados, correlacionando o potencial de redução dos hidrogramas, em função dos volumes de consumo água potável.

4.3.6 Demais metodologias

As demais metodologias tais como área de estudo, população atendida com abastecimento de água, mensuração das áreas de telhado, precipitação, volume de água pluvial aproveitável e consumo de água potável, foram apresentadas no Capítulo 1.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Desempenho do modelo

Na [Figura 31](#) são apresentadas as vazões observadas e simuladas (calibradas) na forma de hidrograma, para o ponto de exutório da Bacia do Prosa, para dois eventos de calibração (17/04/2015 e 27/05/2015) e três eventos de validação (08/01/2016, 15/02/2016 e 14/03/2016). Já na [Tabela 16](#) são apresentados os resultados de desempenho do modelo para os eventos de calibração e validação.

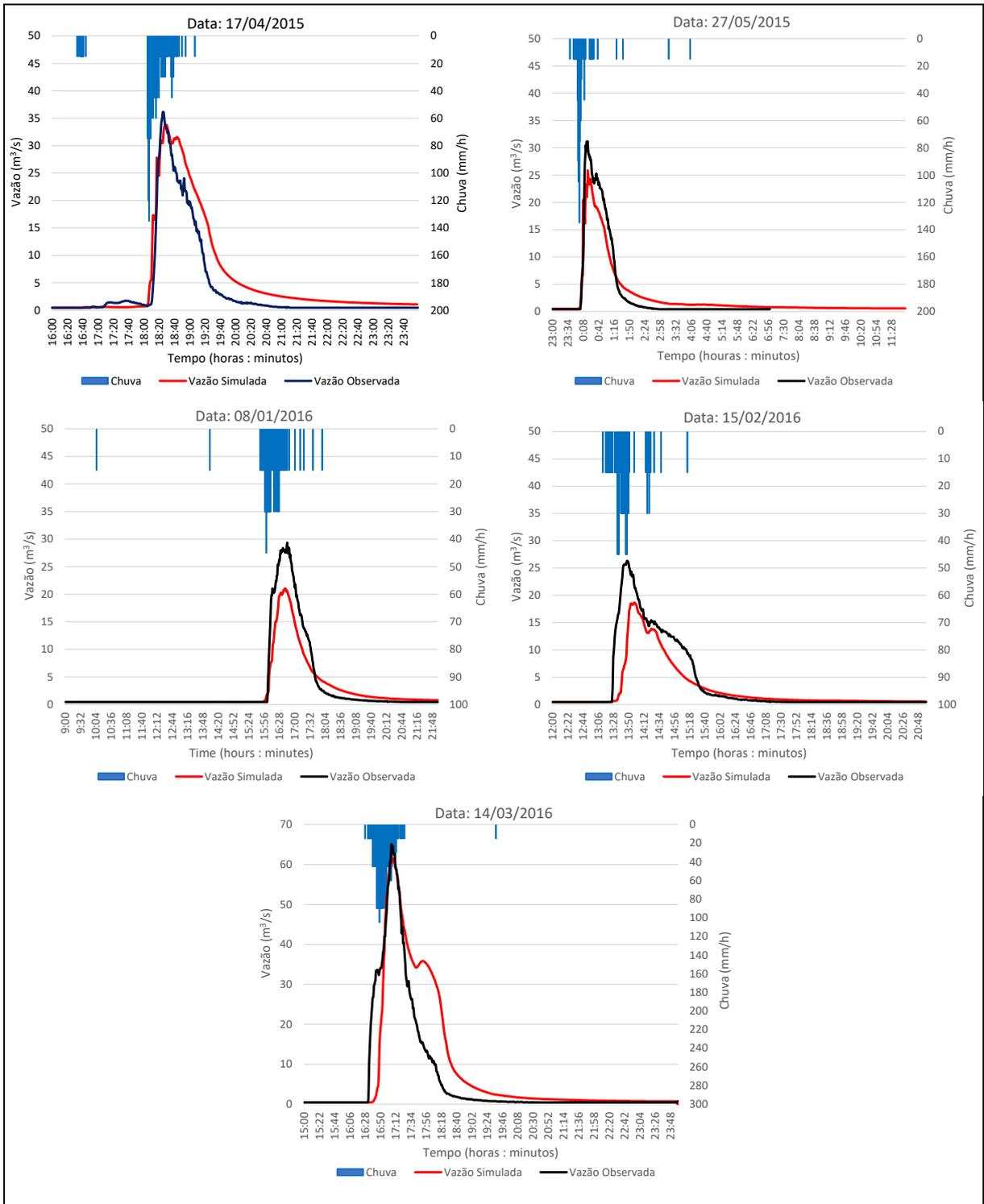


Figura 31 - Vazões simuladas e observadas no exutório da Bacia do Prosa para dois eventos de calibração (17/04/2015 e 27/05/2015) e três eventos de validação (08/01/2016, 15/02/2016 e 14/03/2016).

O modelo apresentou boa qualidade de ajuste tanto para os eventos utilizados para calibração quanto os utilizados para validação, com valores médios de R^2 e NSE superiores a 0,50 e valores de RSR inferiores a 0,70 ([Tabela 16](#)). Em geral, o desempenho do modelo pode ser considerado satisfatório para $R^2 > 0,50$, $RSR \leq 0,70$ e $NSE > 0,50$ ([Moriassi et al., 2007](#)). Assim, assumimos que o modelo representa o processo chuva-vazão de forma satisfatória na bacia analisada.

Na [Tabela 30](#), em anexo, são apresentadas as características das sub-bacias, resultante do processo de calibração, que foram utilizadas nas simulações deste estudo.

Tabela 16 – Resultados da calibração e validação por evento de chuva

Data da Chuva	NSE	R^2	RSR
17/04/2015 ^a	0,86	0,92	0,37
27/05/2015 ^a	0,92	0,91	0,34
08/01/2016 ^b	0,87	0,96	0,36
15/02/2016 ^b	0,74	0,80	0,51
14/03/2016 ^b	0,72	0,78	0,53
Média	0,82	0,87	0,42
Desvio Padrão	0,09	0,08	0,09

a – calibração; b – validação; NSE - índice de eficiência de Nash-Sutcliffe; R^2 - coeficiente de determinação; RSR - taxa de desvio padrão de observações.

4.4.2 Análise das chuvas de projeto

Na [Figura 32](#) são apresentados os hietogramas de projeto (sintético) utilizados nas simulações, por faixa de 10 minutos de duração e por período de retorno (Tr), com duração total de 60 minutos. As chuvas de projeto foram geradas pelo método dos blocos alternados, utilizando-se a equação de intensidade duração e frequência do plano diretor de drenagem de Campo Grande-MS (Campo Grande, 2008).

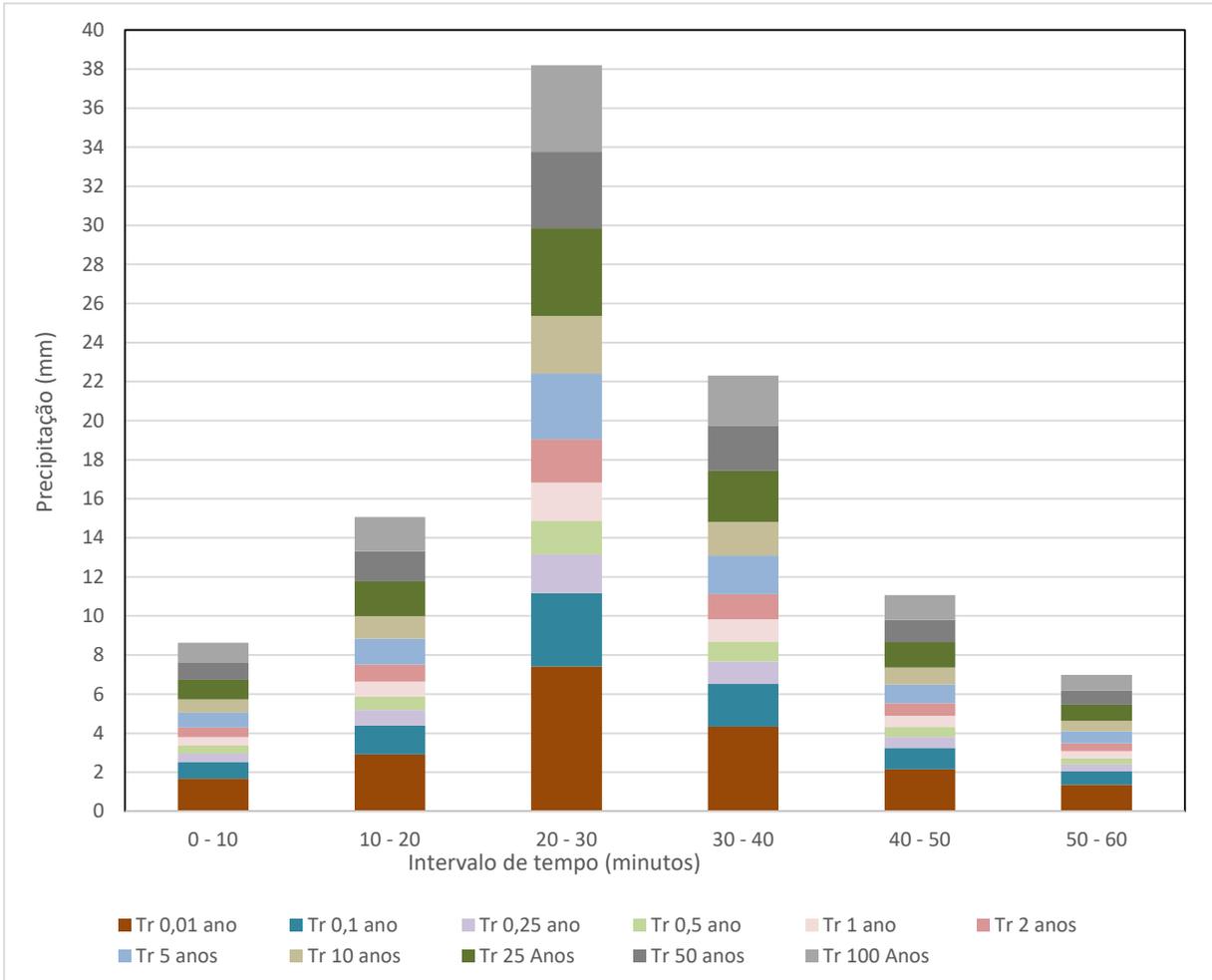


Figura 32 – Hietogramas de chuvas de projeto, por período de retorno (Tr)

Na [Figura 33](#) são apresentados os hidrogramas resultantes das chuvas de projeto, no ponto de exutório da bacia do Prosa, e na [Tabela 17](#) é apresentado um resumo de vazões de pico e volumes escoados, por período de retorno, onde pode-se notar uma grande variação entre os picos de vazão com período de retorno de 1 ano (80,16 m³/s) e período de retorno de 100 anos (208,22 m³/s), uma diferença de 61,5%.

Já a diferença entre volumes escoados chega a 70,4%, entre a chuva de projeto com 1 ano de período de retorno para a chuva com 100 de período de retorno.

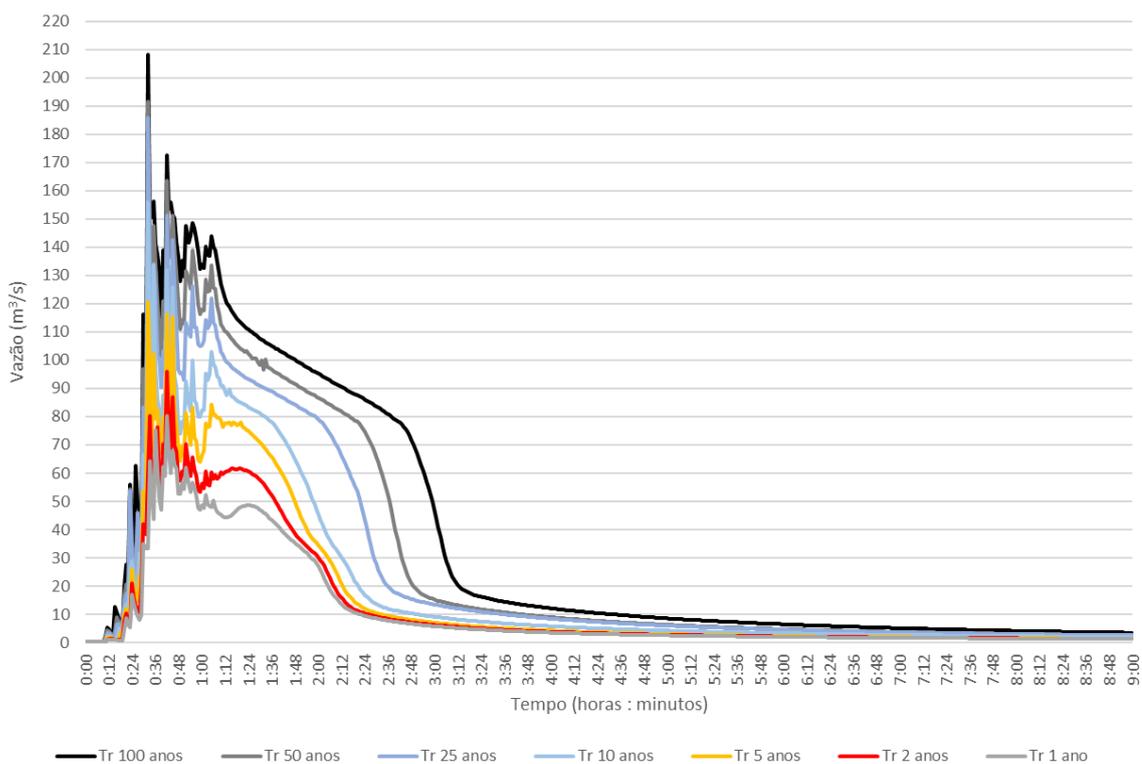


Figura 33 – Hidrogramas resultantes das chuvas de projeto, no exutório da Bacia do Prosa

Tabela 17 – Picos de vazão e volume escoado das chuvas de projeto, no exutório da Bacia do Prosa

Período de Retorno (Tr) (Anos)	Pico de Vazão (m³/s)	Volume Escoado (m³)
1	80,16	396.209
2	95,80	454.804
5	120,53	548.084
10	155,89	673.746
25	186,01	884.846
50	191,42	1.021.950
100	208,22	1.248.865

4.4.3 Quantificação dos volumes de amortecimento

Na [Tabela 18](#) são apresentados os volumes unitários aplicados como amortecimento em cada sub-bacia, sendo obtidos pela multiplicação do consumo médio per capita de 159,35 L/pessoa.dia (SNIS, 2022) pela população de cada sub-bacia.

Tabela 18 – Volumes unitários de amortecimento aplicados em cada sub-bacia

Sub Bacia	População (pessoa)	Volume unitário do amortecimento (m ³)
S1	1.441	229,62
S2	4.384	698,59
S3	3.106	494,94
S4	4.716	751,49
S5	6.854	1.092,18
S6	4.841	771,41
S7	6.694	1.066,69
S8	6.253	996,42
S9	2.377	378,77
S10	1.583	252,25
S11	686	109,31
S12	1.224	195,04
S13	787	125,41
S14	2.410	384,03
S15	4.959	790,22
S16	7.697	1.226,52
Total	60.012	9.562,91

4.4.4 Capacidade de mitigação dos picos de vazão

Para se analisar a mitigação dos picos de vazão, foram simuladas a influência de 100 volumes de amortecimento (barris de chuva) para cada chuva de projeto. Os volumes de amortecimento testados, representam a variação de 0 a 100 dias em equivalência de volume de consumo de água potável.

No total, foram realizadas 1.111 simulações, sendo 11 simulações sem o efeito dos amortecimentos, mais 1.100 simulações sob a influência de volumes de amortecimento.

Na [Figura 34](#) foram plotados os resultados de pico de vazão para as 1.111 simulações, com a variação dos 100 volumes de amortecimento, para as 11 chuvas testadas. Nota-se que os picos de vazão tendem a diminuir à medida que se aumentam os volumes de amortecimento, até se estabilizarem a partir do que chamei de ponto de Volume Final de Amortecimento (VFA) para Pico (P) de vazão (VFA-P), representados pelos pontos em vermelho na [Figura 34](#).

Os VFA-P representam, para cada chuva, o ponto a partir do qual o incremento do volume de amortecimento não produz mais efeito na mitigação do pico de vazão produzido pela chuva.

Na [Tabela 19](#) são apresentados os dados resumidos das reduções de pico de vazão, causadas pela aplicação dos volumes de amortecimento (*LIDs*) nos VFA-P.

Considerando a definição de VFA-P, a coluna de volumes de amortecimento (*LID*), da [Tabela 19](#), representa os volumes, em termos de equivalência em consumo de água potável pela população, a partir do qual, a CPT deixa de contribuir com a mitigação dos picos de vazão no exutório da bacia em estudo.

A título de exemplo, se instalarmos o equivalente em volume de água potável consumida de 26 dias (*Tr* de 100 anos), como volume de amortecimento, o pico de vazão seria reduzido de 208,05 m³/s para 172,69 m³/s, uma redução de 35,36% e, neste caso, o volume de 26 dias também garante o amortecimento de VFA-P para as chuvas com período de retorno abaixo dos 100 anos, para este exemplo.

Tabela 19 – Resumo dos efeitos dos amortecimentos (LID) nos picos de vazão, para VFA-P, por período de retorno (Tr)

Período de Retorno (Tr)	Picos de Vazão Sem LID	Volume de Amortecimento (LID) no VFA-P	Picos de vazão Com LID no VFA-P	Redução dos Picos de Vazão no VFA-P	Redução dos Picos de Vazão no VFA-P
(anos)	(m ³ /s)	(dias de consumo)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)
0,01	28,55	8	13,62	14,93	52,30
0,1	52,46	11	27,15	25,31	48,25
0,25	68,68	12	38,75	29,93	43,58
0,5	82,78	13	48,00	34,77	42,01
1	97,05	14	57,88	39,18	40,37
2	121,97	16	70,19	51,77	42,45
5	152,36	17	91,07	61,29	40,23
10	166,72	19	108,86	57,86	34,70
25	191,38	21	134,16	57,22	29,90
50	195,64	24	155,96	39,68	20,28
100	208,05	26	172,69	35,36	17,00

A curva produzida pelos VFA-P, apresentada na [Figura 34](#), pode ser utilizada como uma Curva de Volume Final de Amortecimento (CVFA) para Pico (P) de vazão (CVFA-P), relacionando pico de vazão com volume de consumo, em dias, utilizado como amortecimento.

Tanto o VFA-P quanto a CVFA-P podem ser utilizadas em estudos de viabilidade, como limite de volume de amortecimento e, limite de volume de armazenamento de CPT, ambos com foco na redução de picos de vazão em bacias urbanas.

Também é possível verificar que o VFA-P de uma determinada chuva supera os VFA-P de chuvas com períodos de retorno menores. Portanto, o uso do volume de um VFA-P para um período de retorno, atende, com sobras, os volumes de amortecimento em VFA-P de chuvas de menores períodos de retorno.

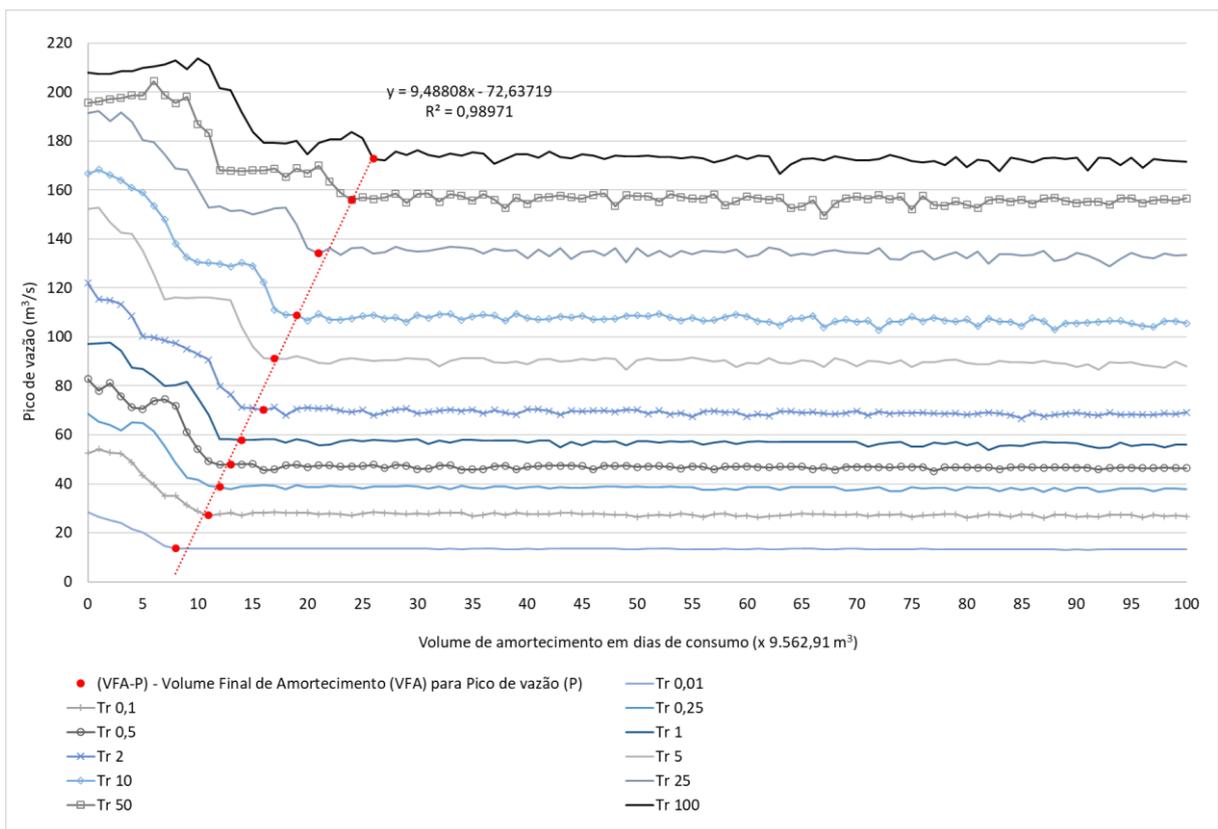


Figura 34 – Pontos de Volume Final de Amortecimento (VFA) para Pico de vazão (P) - (VFA-P), por período de retorno (Tr) em anos.

Na [Figura 35](#) são apresentados os volumes de amortecimento dos VFA-P, os picos de vazão, sem e com a influência dos amortecimentos (*LID*). Nota-se que períodos de retorno maiores, resultaram em volumes de amortecimento maiores nos VFA-P, porém as reduções nos picos, sob a influência dos amortecimentos, não seguiram linearmente os aumentos dos volumes ([Figura 36](#)), sendo que as maiores reduções em porcentagem, ocorreram para os períodos de retorno de 1, 2 e 5 anos,

enquanto as maiores reduções em vazão foram para os períodos de retorno de 5 ,10 e 25 anos.

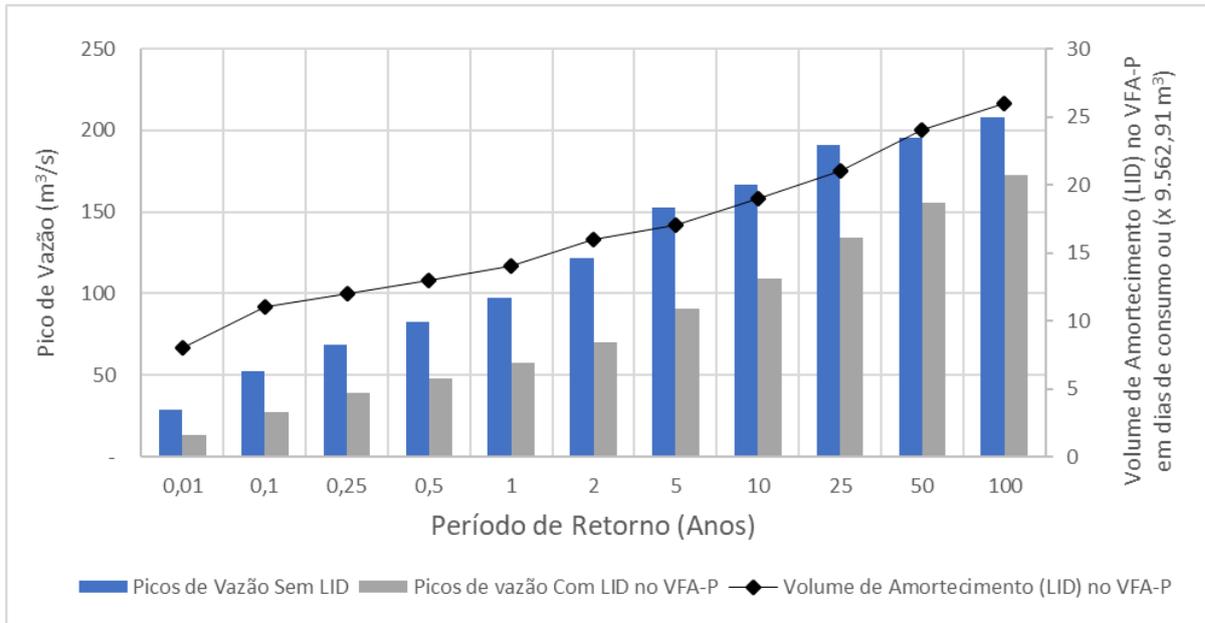


Figura 35 – Picos de vazão e respectivos volumes de LID nos VFA-P, por período de retorno.

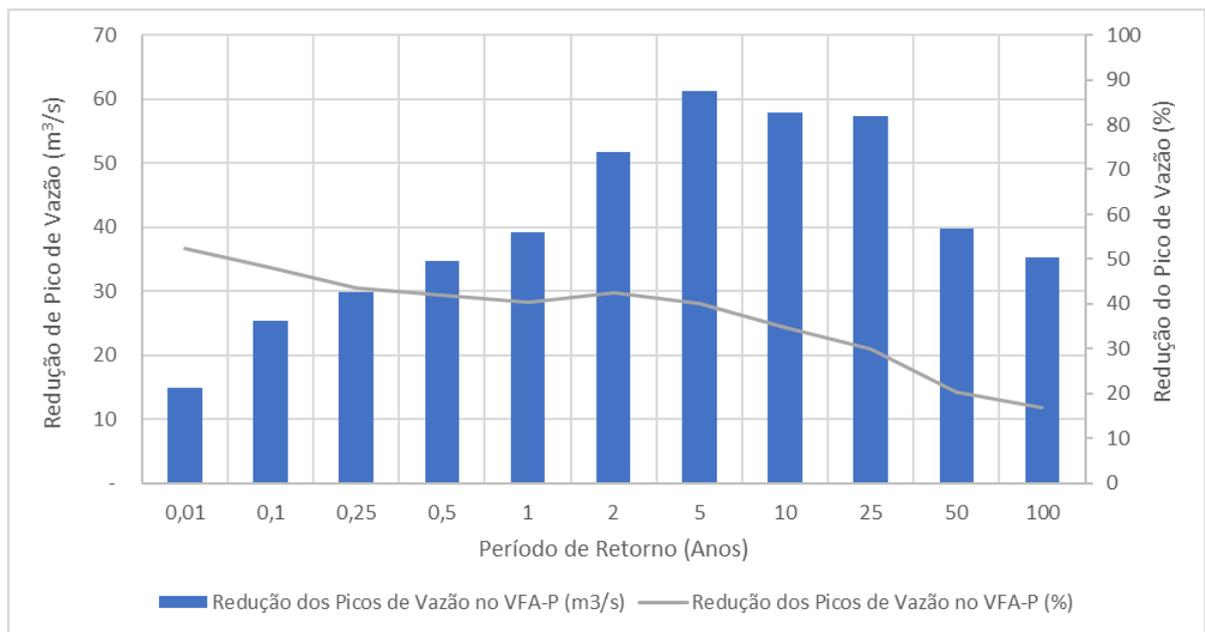


Figura 36 – Redução dos picos de vazão nos VFA-P

Outro uso que se pode fazer do VFA-P e da CVFA-P, é em relação à mensuração de mitigação de picos de vazão, com equivalência entre períodos de retorno. Por exemplo, analisando a [Figura 34](#), a chuva com período de retorno de 100 anos produz um pico de vazão de 208,05 m³/s sem o uso de mitigações de amortecimento, porém,

com o uso de um volume de amortecimento de 13,6 dias de consumo ($13,6 \times 9.562,91 \text{ m}^3$) o pico de vazão é reduzido para o equivalente a uma chuva de 50 anos de período de retorno ($195,64 \text{ m}^3/\text{s}$). Seguindo esta linha de raciocínio, a [Tabela 20](#) apresenta todos os potenciais de mitigação de picos de vazão, com equivalência entre períodos de retorno.

Tabela 20 – Potencial de mitigação de picos de vazão, com equivalência entre períodos de retorno

PVSA (m^3/s)	PVCA (m^3/s)	195,64	191,38	166,72	152,36	121,97	97,05	82,78	68,68	52,46	28,55
	Tr	50	25	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1	0,01
208,05	100	13,6	14,1								
195,64	50		9,6	14,0							
191,378	25			9,2	11,1						
166,718	10				6,2	16,0					
152,357	5					6,4	14,9				
121,967	2						8,1	11,7			
97,054	1							6,3	10,9		
82,778	0,5								8,3	10,3	
68,682	0,25									7,4	
52,455	0,1										10,2

PVSA - Pico de vazão sem amortecimento; PVCA – Pico de vazão com amortecimento

4.4.5 Capacidade de mitigação dos volumes escoados

Para se analisar a mitigação dos volumes escoados, sob a influência dos volumes de amortecimento, foram utilizadas as mesmas simulações descritas no capítulo 4.4.4.

Na [Figura 37](#) são apresentados os resultados de volume escoado para as 1.111 simulações das 11 chuvas testadas, sem e com a influência dos amortecimentos dos telhados. Nota-se que os volumes escoados, assim como os picos de vazão, tendem a diminuir à medida que se aumentam os volumes de amortecimento, até se estabilizarem a partir do que chamei de ponto de Volume final de amortecimento (VFA) para Volume (V) escoado (VFA-V), representados pelos pontos em vermelho na [Figura 37](#).

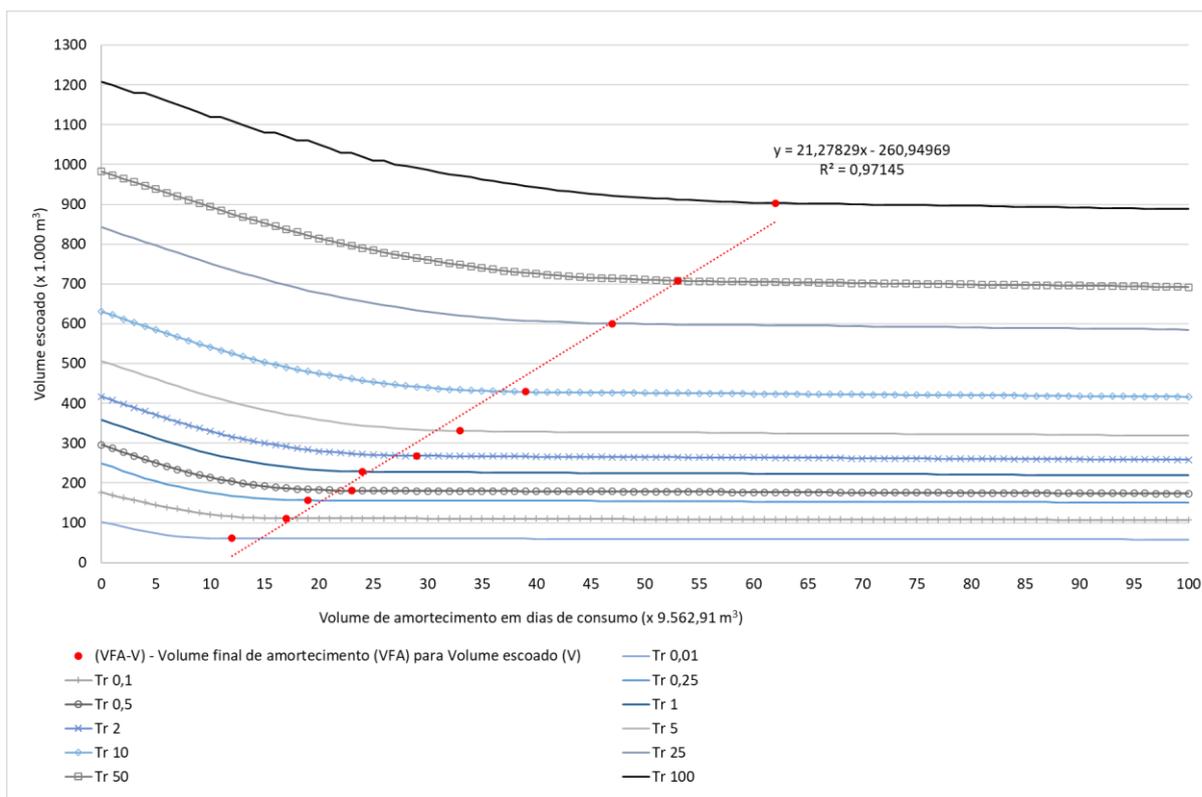


Figura 37 - Pontos de Volume final de amortecimento (VFA) para Volume (V) escoado - (VFA-V), por período de retorno (Tr) em anos.

Os VFA-V representam, para cada chuva, o ponto a partir do qual o incremento do volume de amortecimento não produz mais efeito na mitigação do volume escoado provocado pela chuva.

Na [Tabela 21](#) são apresentados os dados resumo das reduções de volume escoado, causadas pela aplicação dos volumes de amortecimento nos VFA-V.

Considerando a definição de VFA-V, a coluna de volumes de amortecimento (*LID*), da [Tabela 21](#), representa os volumes, em termos de equivalência em consumo de água potável pela população, a partir do qual, a CPT deixa de contribuir com a mitigação dos volumes escoados no exutório da bacia em estudo.

A título de exemplo, se instalarmos o equivalente em volume de água potável consumida de 62 dias (Tr de 100 anos), como volume de amortecimento, o volume escoado seria reduzido de $1.208 \times 10^3 \text{ m}^3$ para $903 \times 10^3 \text{ m}^3$, uma redução de 25,26% e, neste caso, o volume de 62 dias também garante o amortecimento de VFA-V para as chuvas com período de retorno abaixo dos 100 anos, para este exemplo.

Tabela 21 - Resumo dos efeitos dos amortecimentos (LID) nos volumes escoados, para VFA-V, por período de retorno (Tr)

Período de Retorno (Tr)	Volume Escoado Sem LID	Volume de Amortecimento (LID) no VFA-V	Volume Escoado com LID no VFA-V	Redução do Volume Escoado no VFA-V	Redução do Volume Escoado no VFA-V
(anos)	(x1000m ³)	(dias de consumo)	(x1000m ³)	(x1000m ³)	(%)
0,01	102	12	60,9	41	40,47
0,1	177	17	111	66	37,27
0,25	249	19	157	92	36,99
0,5	296	23	181	115	38,87
1	358	24	229	129	36,12
2	417	29	268	149	35,70
5	506	33	331	175	34,64
10	631	39	429	202	31,98
25	842	47	600	242	28,76
50	982	53	708	274	27,90
100	1.208	62	903	305	25,26

A curva produzida pelos VFA-V ([Figura 37](#)) pode ser utilizada como uma Curva de Volume Final de Amortecimento (CVFA) para Volume (V) de escoado (VFA-V), relacionando volume escoado com volume de consumo, utilizado como amortecimento.

Tanto o VFA-V quanto a CVFA-V podem ser utilizadas em estudos de viabilidade, como limite de volume de amortecimento e, limite de volume de armazenamento de CPT, ambos com foco na redução de volume escoado em bacias urbanas.

Também é possível verificar que o VFA-V de uma determinada chuva supera os VFA-V de chuvas com períodos de retorno menores. Portanto, o uso do volume de um VFA-V para um período de retorno, atende, com sobras, os volumes de amortecimento em VFA-V de chuvas de menores períodos de retorno.

Na [Figura 38](#) são apresentados os volumes de amortecimento dos VFA-V, os volumes escoados, sem e com a influência dos amortecimentos. Nota-se que períodos de retorno maiores, resultaram em volumes de amortecimento maiores nos VFA-V, diferentemente das reduções nos picos, as reduções de volume escoado, seguiram linearmente os aumentos dos volumes ([Figura 39](#)).

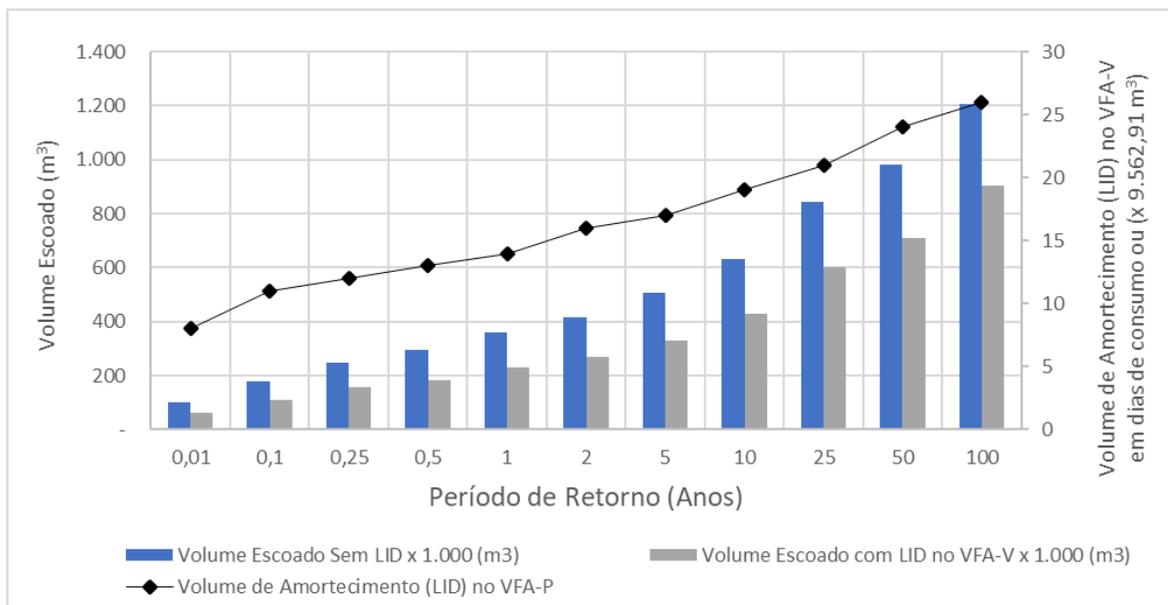


Figura 38 - Volumes de LID nos VFA-V e respectivos volumes escoados por período de retorno.

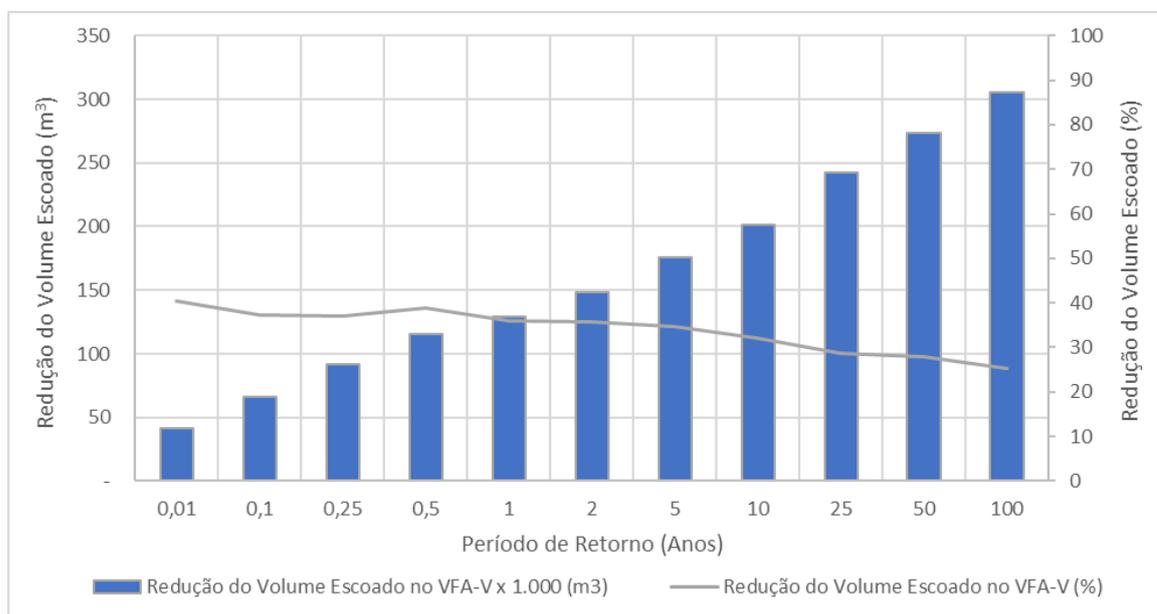


Figura 39 - Redução dos volumes escoados nos VFA-V

Outro uso que se pode ter do VFA-V e da CVFA-V, é em relação à mensuração de mitigação de volumes escoados, com equivalência entre períodos de retorno. Por exemplo, analisando a [Figura 37](#), a chuva com período de retorno de 100 anos produz um volume escoado de $1.208,1 \times 10^3 \text{ m}^3$ sem o uso de mitigações de amortecimento, porém, com o uso de um volume de amortecimento de 30,8 dias de consumo ($30,8 \times 9.562,91 \text{ m}^3$) o volume escoado é reduzido para o volume escoado da chuva de 50 anos de período de retorno ($981,9 \times 10^3 \text{ m}^3$). Seguindo esta linha de raciocínio, a

[Tabela 22](#) apresenta todos os potenciais de mitigação de volumes escoados, com equivalência entre períodos de retorno.

Tabela 22 - Potencial de mitigação de volumes escoados, com equivalência entre períodos de retorno

VESA (x1.000 m ³)	VECA (x1.000 m ³)	981,9	842,2	630,7	506,4	416,8	358,5	296,1	249,2	177,0
	Tr	50	25	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1
1.208,1	100	30,8								
981,9	50		16,4							
842,2	25			29,8						
630,7	10				14,5					
506,4	5					10,2	20,1			
416,8	2						6,4	16,0		
358,5	1							7,0	14,7	
296,1	0,5								5,1	
249,2	0,25									45,2

VESA – Volume escoado sem amortecimento; VECA – Volume escoado com amortecimento

4.5 CONCLUSÕES

O amortecimento da CPT não é suficiente para recuperar a capacidade de escoamento de pico de vazão do sistema de drenagem pluvial urbano, perdida pelo aumento da impermeabilização do solo. O limite de recuperação é representado pelo que foi denominado de ponto de Volume Final de Amortecimento (VFA) para Pico (P) de vazão (VFA-P) e pela Curva de Volume Final de Amortecimento (CVFA) para Pico (P) de vazão (CVFA-P).

Para uma chuva de 10 anos de período de retorno o VFA-P é de 19 dias em equivalência de consumo, o que representa 181.695,29 m³ de volume de amortecimento. Já para uma chuva de 100 anos de período de retorno, o VFA-P é de 26 dias em equivalência de consumo, o que representa 248.635,66 m³ de volume de amortecimento.

Também é possível concluir que existe um limite de capacidade de mitigação de volume escoado na bacia, que o amortecimento de volumes da CPT pode oferecer. Assim, o amortecimento da CPT, também não é suficiente para recuperar a capacidade de escoamento de volume do sistema de drenagem pluvial urbano, perdida pelo aumento da impermeabilização do solo. Esse limite é representado pelo ponto de Volume Final de Amortecimento (VFA) para Volume (V) escoado (VFA-V) e

pela Curva de Volume Final de Amortecimento (CVFA) para Volume (V) escoado (CVFA-V).

Para uma chuva de 10 anos de período de retorno o VFA-V é de 39 dias em equivalência de consumo, o que representa 372.953,49 m³ de volume de amortecimento. Já para uma chuva de 100 anos de período de retorno, o VFA-V é de 62 dias em equivalência de consumo, o que representa 592.900,42 m³ de volume de amortecimento.

Como foi constatado que os VFA-P são menores que os VFA-V, entre chuvas de mesmo período de retorno, a conclusão é de que os objetivos de redução de pico de vazão estão inclusos nos objetivos de redução de volume escoado, já o contrário não ocorre.

Portanto, projetos de engenharia que buscam redução do volume escoado, também alcançarão a redução do pico de vazão. Contudo, projetos de engenharia que objetivam a redução dos picos de vazão, não necessariamente obterão os benefícios da redução de volume escoado na mesma proporção.

Também é possível concluir que dispositivos comerciais de barris de chuva, com pequena capacidade de armazenamento para poucos dias de consumo, não possuem influência no amortecimento do escoamento superficial de bacias hidrográficas.

Nesse capítulo, ficou claro que não é possível restabelecer os níveis de pico de vazão e volume escoado aos padrões de pré-desenvolvimento urbano, sendo constatada a presença de um limite de mitigação para o uso de volumes de amortecimento para CPT.

Assim, embora os resultados tenham revelado uma influência positiva do amortecimento da CPT na redução do escoamento superficial, tanto nos picos de vazão quanto nos volumes escoados em áreas urbanas, é importante reconhecer que essas estratégias devem ser complementadas por outras medidas na gestão integrada das águas pluviais urbanas.

CAPÍTULO 5

5 MITIGAÇÃO DE PROBLEMAS NA MACRODRENAGEM URBANA ATRAVÉS DA CAPTAÇÃO PLUVIAL EM TELHADOS COM ÊNFASE NA ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL

5.1 RESUMO

Este capítulo investiga os efeitos dos volumes de armazenamento provenientes da captação pluvial em telhados (CPT), com ênfase na economia de água potável, como mecanismos de amortecimento de picos e volumes escoados na macrodrenagem urbana. O estudo emprega simulações utilizando o modelo *Storm Water Management Model* (SWMM), baseado no conceito de barris de chuva, para analisar os resultados decorrentes do amortecimento dos volumes coletados dos telhados. Para isso, foram utilizados os volumes de armazenamento previamente determinados no capítulo 3, que visam alcançar o máximo potencial de economia de água potável (PEAP).

A partir dos resultados obtidos, a pesquisa avalia o potencial de redução nos hidrogramas, considerando os volumes necessários de armazenamento de água pluvial para atingir a economia máxima de água potável.

Ao analisar a literatura existente sobre a CPT para mitigar inundações urbanas e promover economia de água, identifica-se uma questão lacunar na compreensão técnica das características hidrológicas e hidráulicas dos sistemas de drenagem urbanos. Embora alguns estudos tenham examinado a viabilidade e os benefícios ambientais dessas soluções, há carência de enfoque na hidrologia das bacias e na hidráulica da macrodrenagem.

Nesse contexto, o objetivo central desse capítulo é investigar de maneira específica como os volumes de armazenamento pluvial de telhados afetam o escoamento na macrodrenagem urbana. Adicionalmente, o trabalho aborda a utilização de volumes de amortecimento dimensionados para a economia de água potável como variável determinante dos volumes de amortecimento.

Foi possível concluir que o uso de volumes de armazenamento da CPT, focado na economia de água potável, reduz o escoamento superficial na macrodrenagem, tanto em pico de vazão quanto no total de volume escoado. No entanto, esses amortecimentos não são suficientes para eliminar por completo os eventos de extravasamento na macrodrenagem e não conseguem recuperar a capacidade de

escoamento do sistema de drenagem pluvial urbano, que foi comprometido pela impermeabilização do solo.

Palavras-chave: captação em telhados; captação de água de chuva; tanques de água de chuva; controle de pico de escoamento; drenagem urbana.

5.2 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, volumes de armazenamento da CPT, focados na economia de água potável, foram analisados como volumes de amortecimento de picos e volumes escoados na macrodrenagem urbana.

A análise dos efeitos resultantes do amortecimento dos volumes coletados através dos telhados, foi conduzida por meio de simulações utilizando o modelo *Storm Water Management Model* (SWMM), empregando a ferramenta de barris de chuva. Nesse procedimento, os volumes de armazenamento necessários para alcançar o PEAP, provenientes da CPT, previamente determinados no capítulo 3, foram empregados como volumes de amortecimento no escoamento proveniente dos telhados.

A partir desses resultados, foi possível analisar o potencial de redução nos hidrogramas, considerando os volumes de armazenamento de água de chuva necessários para se atingir o potencial máximo de economia de água potável.

Ao analisar a literatura existente sobre a CPT para a remediação de inundações urbanas e economia de água potável, identifica-se uma carência na compreensão dos aspectos técnicos relacionados às características hidrológicas e hidráulica dos sistemas de drenagem urbanos. Embora alguns estudos tenham investigado a viabilidade e os benefícios ambientais dessas soluções, ainda há falta de abordagens com foco na hidrologia das bacias e hidráulica da macrodrenagem.

Neste contexto, o objetivo central desse capítulo é investigar de forma específica como os efeitos dos volumes de armazenamento afetam o escoamento na macrodrenagem urbana.

Este trabalho também considera a utilização de volumes de amortecimentos dimensionados para economia de água potável para população, como variável de determinação de volumes de amortecimento.

5.3 METODOLOGIA

5.3.1 Delineamento do estudo

Foi utilizada a mesma metodologia apresentada no capítulo [4.3.1](#), com exceção da variação dos volumes dos barris de chuva, que neste capítulo foi fixado nos volumes obtidos na [Figura 21](#), do capítulo [3.4.3](#), que representam os volumes de

armazenamento necessários para se atingir o PEAP, pela captação pluvial nos telhados da bacia analisada.

Outra exceção foi a variação das chuvas de projeto, que neste capítulo focou em períodos de retorno a partir de 1 ano, totalizando 7 chuvas de projeto.

Na [Figura 40](#) é apresentado o fluxograma do estudo realizado neste capítulo.

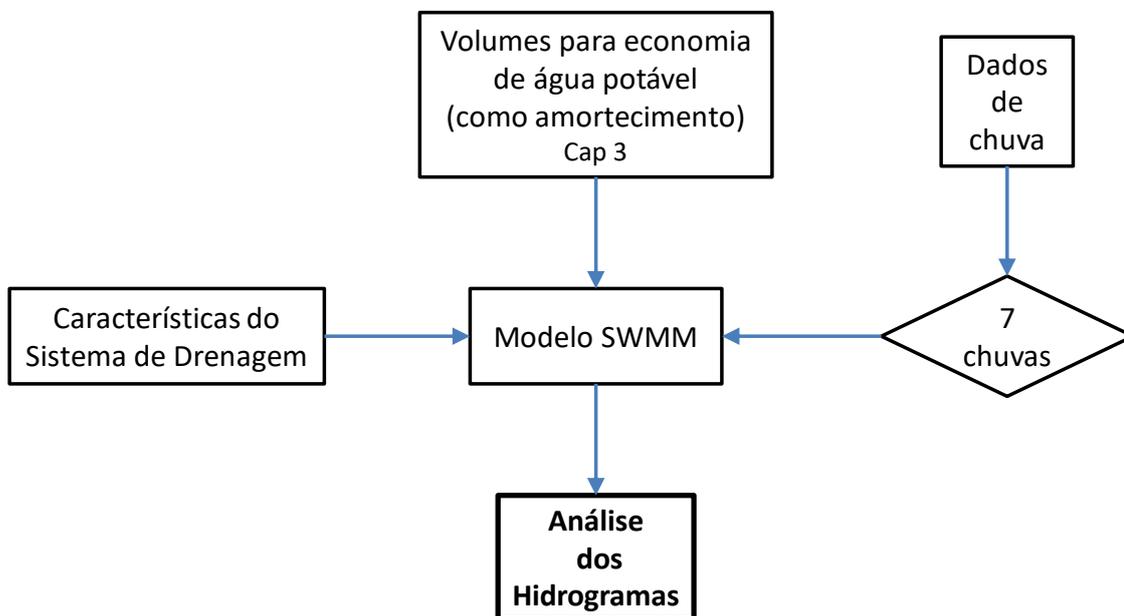


Figura 40 – Fluxograma das etapas do estudo

5.3.2 Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica é a mesma apresentada no capítulo [4.3.2](#).

5.3.3 Calibração e Avaliação do Modelo

A calibração e avaliação do modelo são os mesmos apresentados no capítulo [4.3.3](#).

5.3.4 Análise das chuvas de projeto

Foi utilizada a mesma metodologia apresentada no capítulo [4.3.4](#).

5.3.5 Captação pluvial para potencial de economia de água potável

Como volumes dos barris de chuva, foram utilizados os volumes apresentados na [Figura 21](#), do capítulo [3.4.3](#), que representam os volumes de armazenamento

necessários para se atingir o PEAP, pela captação pluvial nos telhados da bacia analisada.

5.3.6 Demais metodologias

As demais metodologias tais como área de estudo, população atendida com abastecimento de água, mensuração das áreas de telhado, precipitação, volume de água pluvial aproveitável e consumo de água potável, foram apresentadas no Capítulo 1.

5.4 RESULTADOS

A CPT, e o armazenamento do volume captado, foram testados como alternativa de mitigação para problemas de extravasamento na macrodrenagem da bacia em estudo. Para tanto, essas *LIDs* foram testadas em simulações para as chuvas de projeto apresentadas anteriormente.

Os resultados deste capítulo representam como o uso de volumes de armazenamento, dimensionados para se atingir o PEAP por CPT, podem influenciar o escoamento superficial da macrodrenagem urbana.

5.4.1 Volumes de amortecimento com foco na captação pluvial para potencial de economia de água potável

Na [Tabela 23](#) são apresentados os volumes necessários para se atingir o PEAP abordado no capítulo [3.4.3](#), assim como sua relação com a população e áreas de telhado, por sub-bacia. Esses volumes foram testados como volumes dos barris de chuva, para avaliação de sua influência no escoamento superficial e inundações na bacia em estudo.

Os volumes de armazenamento ou amortecimento variam de 5,21 m³/pessoa e 0,06 m³/m² a 10,56 m³/pessoa e 0,49 m³/m².

Tabela 23 – Volumes de armazenamento utilizados como amortecimento, e suas relações com a população e área de telhado

Sub-Bacia	Área de Telhado (ha)	População (pessoa)	Volume de armazenamento (m ³)	Armazenamento por pessoa (m ³ /pessoa)	Armazenamento por área de telhado (m ³ /m ²)
S1	8,00	1.441	14.964,16	10,38	0,187
S2	27,35	4.384	36.450,52	8,31	0,133
S3	19,72	3.106	24.957,33	8,04	0,127
S4	40,94	4.716	24.554,64	5,21	0,060
S5	49,56	6.854	43.910,24	6,41	0,089
S6	26,67	4.841	51.143,48	10,56	0,192
S7	21,26	6.694	34.853,43	5,21	0,164
S8	27,27	6.253	36.425,71	5,83	0,134
S9	8,79	2.377	12.376,25	5,21	0,141
S10	9,97	1.583	12.923,25	8,16	0,130
S11	2,99	686	3.986,16	5,81	0,133
S12	5,32	1.224	7.025,47	5,74	0,132
S13	6,66	787	4.097,65	5,21	0,062
S14	2,56	2.410	12.548,07	5,21	0,490
S15	17,67	4.959	25.819,86	5,21	0,146
S16	16,71	7.697	40.075,71	5,21	0,240
TOTAL	291,44	60.012	386.111,91	6,43	0,132

5.4.2 Influência da captação pluvial em telhados, com foco na economia de água, no escoamento superficial

Na [Figura 41](#) são apresentados os hidrogramas resultantes da aplicação das chuvas de projeto na bacia em estudo, com e sem a influência do uso dos volumes de amortecimento como prática de *LID*.

Ainda na [Figura 41](#), nota-se que, o aumento do período de retorno, reduz a diferença entre os hidrogramas, com e sem o uso de *LID*, indicando redução da influência do efeito dos amortecimentos.

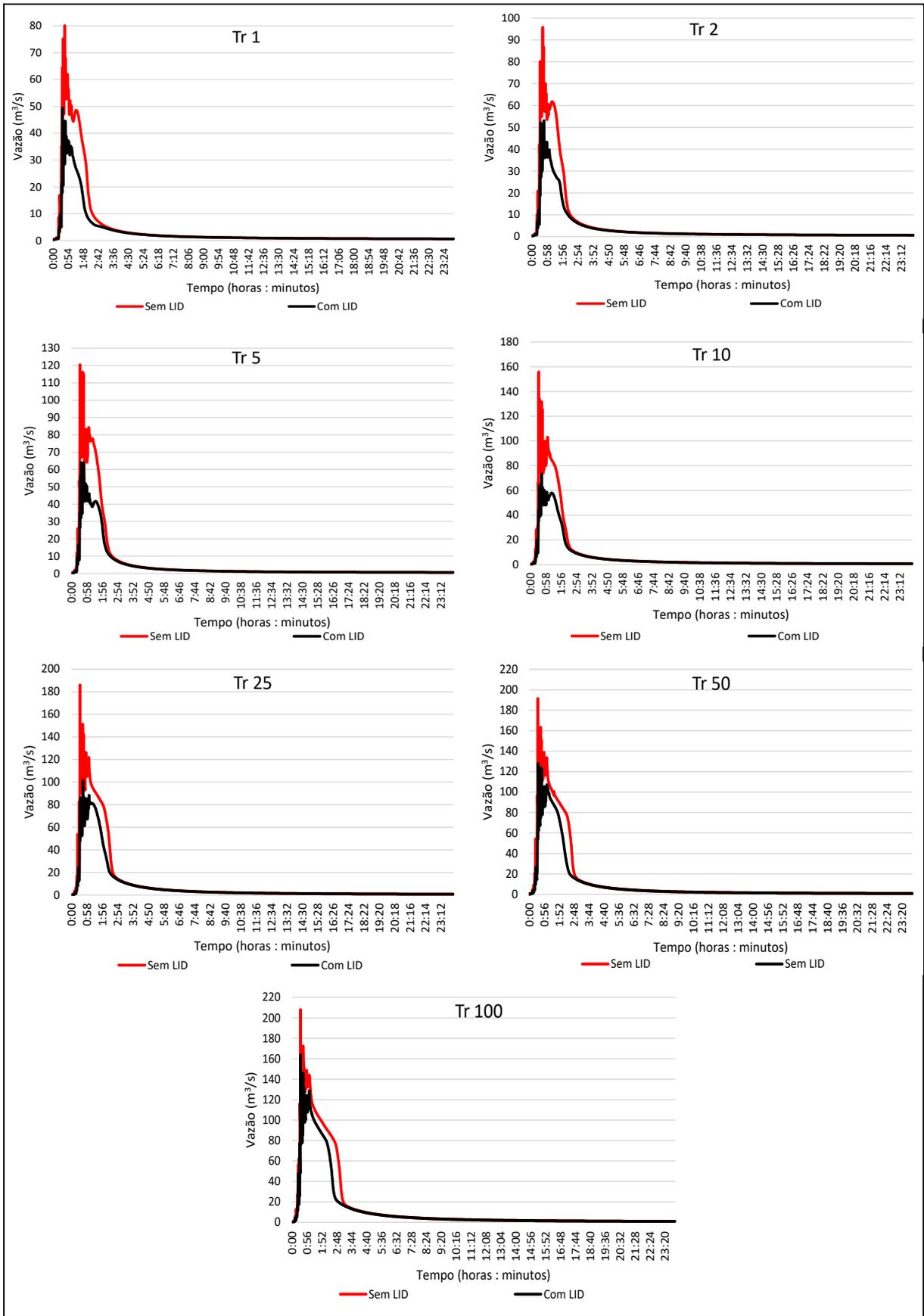


Figura 41 – Comparações entre hidrogramas resultantes no exutório da bacia do Prosa, sob a influência do uso de volumes de amortecimento (LID) em telhados, por período de retorno (Tr).

A [Figura 42](#) e a [Tabela 24](#) apresentam as reduções dos picos de vazão sob a influência dos amortecimentos, por período de retorno, onde nota-se que a maior redução ocorre para chuva de 10 anos de período de retorno, de 155,89 m³/s para 73,46 m³/s, uma redução de 52,88%, a partir de onde a redução dos picos tornam-se menores, chegando a 21,27% para chuvas com 100 anos de período de retorno.

É importante lembrar que os resultados de amortecimento de pico de vazão, apresentados na [Figura 42](#) e na [Tabela 24](#), estão sob influência de amortecimentos que representam 6,43 m³ de volume de amortecimento por pessoa na área de estudo, ou 0,132 m³ de amortecimento para cada metro quadrado de área de telhado na bacia, conforme [Tabela 23](#).

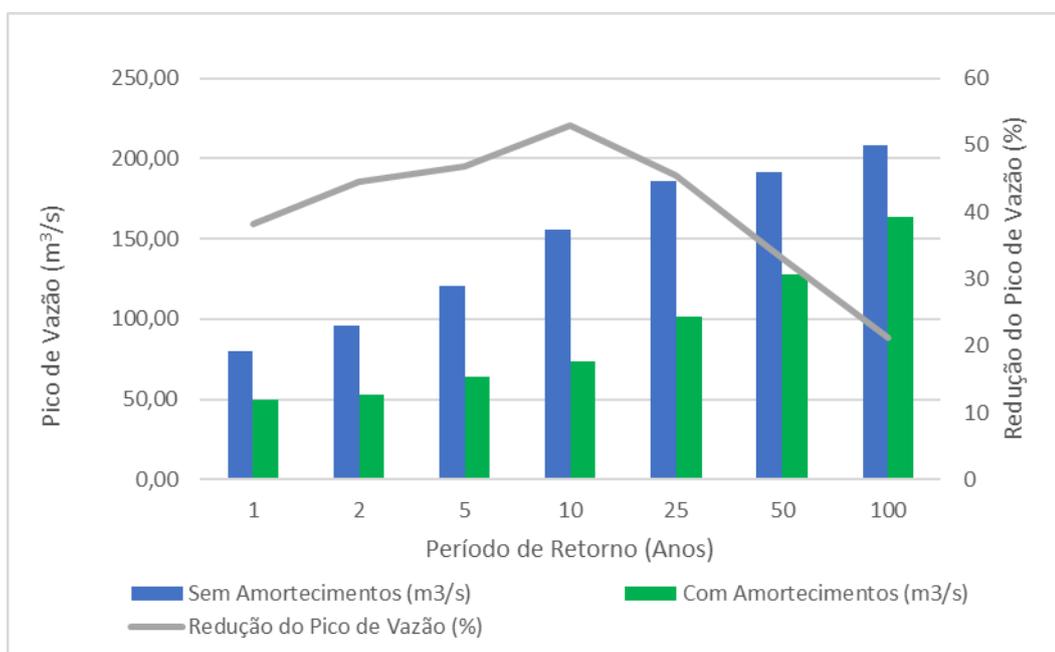


Figura 42 – Redução do pico de vazão sob a influência dos amortecimentos (LIDs) em telhados

Tabela 24 – Redução dos picos de vazão sob a influência dos amortecimentos (LIDs) em telhados

Tr	Sem LID (m ³ /s)	Com LID (m ³ /s)	Redução do Pico de Vazão (m ³ /s)	Redução do Pico de Vazão (%)
1	80,16	49,46	30,70	38,30
2	95,80	53,07	42,73	44,60
5	120,53	64,06	56,47	46,85
10	155,89	73,46	82,43	52,88
25	186,01	101,41	84,60	45,48
50	191,42	128,09	63,33	33,08
100	208,22	163,93	44,29	21,27

Na [Figura 43](#) e [Tabela 25](#) são apresentados os resultados da redução dos volumes escoados sob a influência dos amortecimentos, onde nota-se que a redução dos volumes escoados é crescente conforme aumenta-se o período de retorno, porém, sua eficiência é inversamente proporcional, em termos de porcentagens de redução, iniciando-se com redução de 33,09% para período de retorno de 1 ano, chegando a 20,66% de redução de volume escoado, para período de retorno de 100 anos.

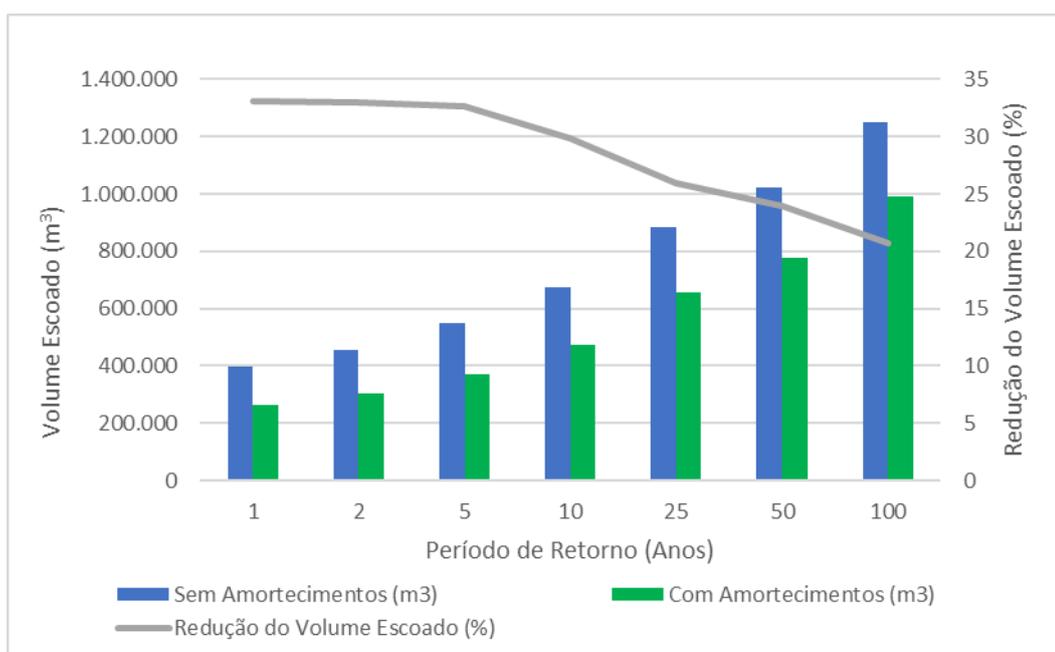


Figura 43 - Redução dos volumes escoados sob a influência dos amortecimentos (LIDs) em telhados

Tabela 25 - Redução dos volumes escoados sob a influência dos amortecimentos (LIDs) em telhados

Tr	Sem LID (m³)	Com LID (m³)	Redução do Volume Escoado (m³)	Redução do Volume Escoado (%)
1	396.209	265.097	131.112	33,09
2	454.804	304.984	149.819	32,94
5	548.084	369.403	178.681	32,60
10	673.746	472.492	201.254	29,87
25	884.846	654.973	229.873	25,98
50	1.021.950	777.737	244.213	23,90
100	1.248.865	990.839	258.026	20,66

5.5 CONCLUSÕES

O uso de volumes de armazenamento para CPT, com foco no PEAP, na proporção média de 6,43 m³ de volume de amortecimento por pessoa ou 0,132 m³ de amortecimento para cada metro quadrado de área de telhado, foram capazes de reduzir o volume escoado em 33,09% para período de retorno de 1 ano, chegando a uma redução de 20,66% para período de retorno de 100 anos. A maior redução de pico de vazão ocorre para chuva de 10 anos de período de retorno, de 155,89 m³/s para 73,46 m³/s, uma redução de 52,88%, chegando a 21,27% de redução de pico para chuvas com 100 anos de período de retorno.

Assim, podemos concluir que, o uso de volumes de armazenamento para CPT, com foco no PEAP, reduz o escoamento superficial na macrodrenagem, assim como reduz volumes e pontos de extravasamento. Porém, não são suficientes para eliminar os eventos de extravasamentos na macrodrenagem, não sendo também suficientes para recuperar a capacidade de escoamento do sistema de drenagem pluvial urbano, perdida pelo aumento da impermeabilização do solo.

CONCLUSÕES GERAIS

No capítulo 1 calculou-se que o PEAP pela CPT pode chegar a 92,47%, porém, no capítulo 2 foi determinado que, quanto maior a discretização espacial da área de estudo, menor é o erro de transferência indevida de volumes entre áreas de captação pluvial, podendo reduzir o potencial de economia para 47,12%.

Para as análises do capítulo 3, foi escolhida uma discretização espacial intermediária, que aproxima as escalas espaciais e temporais entre captação e consumo, resultando em um PEAP, pela CPT, de 78,72%.

Utilizando-se o ponto de equilíbrio entre captação e consumo (PECC) (52,20 m² de área de telhado por pessoa para 11,48 m³ de armazenamento por pessoa) e as curvas de déficit e sobra anual por pessoa, determinou-se as necessidades de volumes de armazenamento pluvial, resultando em uma taxa de 6,43 m³ por pessoa, totalizando 386.112 m³ para a área da bacia. Essa necessidade de volume de armazenamento representa o equivalente a 40,3 dias de consumo de água potável na área de estudo.

Comparando-se o volume de armazenamento da captação pluvial nos telhados, necessário para economia de água potável (VAEA) (40,3 dias em equivalência de consumo), com os volumes de amortecimento testados no capítulo 4, pode-se concluir que o VAEA é maior que o VFA-P (Volume Final de Amortecimento (VFA) para Pico (P) de vazão) para o maior período de retorno analisado, 100 anos (equivalente a 26 dias de consumo de água potável).

Porém, ao se comparar o VAEA com os VFA-V (Volume Final de Amortecimento (VFA) para Volume (V) escoado), nota-se que ele se aproxima do VFA-V de chuvas de 10 anos de período de retorno. Assim o VAEA equivalente a 40,3 dias de consumo, necessário para se atingir o PEAP de 78,72%, representa o equivalente aproximado ao volume de amortecimento necessário para se atingir o objetivo de amortecimento de volume escoado para uma chuva com período de retorno de 10 anos. O que, conforme analisado no capítulo 5, é capaz de reduzir o volume transbordado de 26.625 m³ para 4.002 m³, com redução de 19 para 12 seções de transbordamento na macrodrenagem.

Ainda analisando a necessidade de volume de armazenamento pluvial em telhados para economia de água potável, com volumes necessários para amortecer picos de vazão, constata-se que a necessidade de volume para economia de água é

1,55 vezes maior que a necessidade de volume para amortecer o pico de vazão, considerando-se o VFA-P de 26 dias em equivalência de consumo, para chuva com período de retorno de 100 anos, com o VAEA de 40,3 dias em equivalência de consumo.

Já a comparação do VAEA de 40,3 dias em equivalência de consumo, com o VFA-V de 62 dias em equivalência de consumo, para uma chuva de 100 anos de período de retorno, revela que a necessidade de volume para economia de água é 1,53 vezes menor que a necessidade de volume para amortecer o volume escoado.

Outra consideração a se destacar é que, para o volume de armazenamento pluvial de telhados atender tanto o objetivo de PEAP, quanto o amortecimento do escoamento superficial, os volumes de ambos os objetivos devem ser somados, uma vez que o volume para redução de escoamento superficial deve permanecer sempre vazio.

Como ilustração, para um evento de chuva com um período de retorno (Tr) de 1 ano, seriam necessários volumes de armazenamento equivalentes a 54,4 dias de consumo. Para uma chuva com um Tr de 100 anos, o volume necessário corresponderia a 66,4 dias de consumo. Isso se traduz em um volume de armazenamento de aproximadamente $8,66 \text{ m}^3/\text{pessoa}$ ou $0,178 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de telhado, para um evento de chuva de Tr de 1 ano. No caso de um evento de chuva com um Tr de 100 anos, o volume necessário seria cerca de $10,58 \text{ m}^3/\text{pessoa}$ ou $0,218 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de telhado.

REFERÊNCIAS

ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, v. 243, p. 195-207, 2009.

[\[Retornar ao texto\]](#)

CAHYONO, M. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture with study case in Bandung Area, West Java. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, v. 1065, p. 012050, 2022. [\[Retornar ao texto\]](#)

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 63, p. 9-16, 2012.

[\[Retornar ao texto\]](#)

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Rainwater harvesting as source control option to reduce roof runoff peaks to downstream drainage systems. *Journal of Hydroinformatics*, v. 18, n. 1, 2016. [\[Retornar ao texto\]](#)

CAMPO GRANDE-MS. Plano Diretor de Drenagem de Campo Grande-MS. 2008.

[\[Retornar ao texto\]](#)

DEB, K. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 2001. [\[Retornar ao texto\]](#)

ELTNER, Anette; BRESSAN, Patrik Olã; AKIYAMA, Thales; GONÇALVES, Wesley Nunes; JUNIOR, José Marcato. Using Deep Learning for Automatic Water Stage Measurements. *Water Resources Research*, v. 57, n. 3, e2020WR027608, 2021.

[\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E.; BRESSAN, D.L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water saving by using Rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, v. 42, p. 1654-1666, 2007. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E.; FERREIRA, D.F. Potential for potable water saving by using Rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 42, p. 2512-2522, 2007. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses. *Water Resour Manage*, v. 24, p. 2381-2403, 2010. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, v. 41, p. 1544-1550, 2006. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. Potential for potable water saving by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 41, n. 2, p. 204 -210, 2006. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 42, p. 1731-1742, 2007. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E.; SCHONDERMARK, P.N. Investment feasibility analysis of rainwater use in residences. *Water Resources Management*, v. 27, issue 7, p. 2555-2576, 2013. [\[Retornar ao texto\]](#)

GHISI, E.; TAVARES, D.F.; ROCHA, V.L. Rainwater harvesting in petrol station in Brasília: Potential for potable water saving and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, p. 79-85, 2009. [\[Retornar ao texto\]](#)

HAJANI, E., RAHMAN, A. *Journal of Arid Environments*. Rainwater utilization from roof catchments in arid regions: A case study for Australia. 111, 35-41, 2014. [\[Retornar ao texto\]](#)

HUANG, C.-L. et al. Optimal Spatial Design of Capacity and Quantity of Rainwater Harvesting Systems for Urban Flood Mitigation. *Water*, v. 7, p. 5173-5202, 2015. [\[Retornar ao texto\]](#)

JULIANA, Imroatul C.; KUSUMA, M. Syahril Badri; CAHYONO, M.; KARDHANA, Hadi; MARTOKUSUMO, Widjaja. Performance of rainwater harvesting system based on roof catchment area and storage tank capacity. *MATEC Web of Conferences*, v. 05014, 2017. [\[Retornar ao texto\]](#)

KIM, G.; YUR, J.; KIM, J. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea. *Journal of Environmental Management*, v. 85, p. 9-16, 2007. [\[Retornar ao texto\]](#)

KIM, Y.; KIM, T.; PARK, H.; HAN, M. Design Method for Determining Rainwater Tank Retention Volumes to Control Runoff from Building Rooftops. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 19, n. 6, p. 1585-1590, 2015. [\[Retornar ao texto\]](#)

LIMA, J. A. de; DAMBROS, M. V. R.; ANTONIO, M.A.P.M. de; JANZEN, J. G.; MARCHETTO, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água potável: análise de 40 cidades da Amazônia. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 16, n. 3, Rio de Janeiro, Jul./Set., 2011. [\[Retornar ao texto\]](#)

MARTINS, J.A.C.; NOGUEIRA, K.; OSCO, L.P.; GOMES, F.D.G.; FURUYA, D.E.G.; GONÇALVES, W.N.; SANT'ANA, D.A.; RAMOS, A.P.M.; LIESENBERG, V.; DOS SANTOS, J.A.; et al. Semantic Segmentation of Tree-Canopy in Urban Environment with Pixel-Wise Deep Learning. *Remote Sens.* 13, 3054. 2021. [\[Retornar ao texto\]](#)

MATTOS, T. S. et al. Improving Urban Flood Resilience under Climate Change Scenarios in a Tropical Watershed Using Low-Impact Development Practices. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 26, n. 12, 2021. [\[Retornar ao texto\]](#)

MAYKOT, J. K.; GHISI, E. Assessment of A Rainwater Harvesting System in A Multi-Storey Residential Building in Brazil. *Water*, v. 12, p. 546, 2020. [\[Retornar ao texto\]](#)

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 2007. [\[Retornar ao texto\]](#)

OKOYE, C. O.; SOLYALIB, O.; AKINTUG, B. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. Resources, Conservation and Recycling, v. 104, p. 131-140, 2015. [\[Retornar ao texto\]](#)

PALLA, A.; GNECCO, I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. Journal of Hydrology, v. 528, p. 361-368, 2015. [\[Retornar ao texto\]](#)

PELAK, N.; PORPORATO, A. Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. Journal of Hydrology, v. 541, p. 1340-1347, 2016. [\[Retornar ao texto\]](#)

PLANURB - AGÊNCIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E PLANEJAMENTO URBANO –. Perfil Socioeconômico de Campo Grande. 24. ed. rev. Campo Grande, 2017. [\[Retornar ao texto\]](#)

SAMPLE, D. J.; ASCE, M; LIU, J.; WANG, S. Journal of Hydrologic Engineering. Evaluating the Dual Benefits of Rainwater Harvesting Systems Using Reliability Analysis. 1310-1321. 2013. [\[Retornar ao texto\]](#)

SAMPLE, D. J.; LIU, J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. Journal of Cleaner Production. p. 174-194. 2014. [\[Retornar ao texto\]](#)

SEPEHRIA, Mehdi et al. Studying the effect of rain water harvesting from roof surfaces on runoff and household consumption reduction. Sustainable Cities and Society, v. 43, p. 317-324, 2018. [\[Retornar ao texto\]](#)

SHINMA, T. A. Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 134p. 2011. [\[Retornar ao texto\]](#)

SHINMA, T. A., REIS, L. F. R. Multiobjective Automatic Calibration of the Storm Water Management Model (SWMM) Using Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) In: World Environmental and Water Resources Congress 2011, Palm Springs. Reston: American Society of Civil Engineers. 598 – 607. 2011. [\[Retornar ao texto\]](#)

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. Journal of Environmental Management, v. 180, p. 82-93, 2016. [\[Retornar ao texto\]](#)

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Site institucional, 2008. Disponível em: www.snis.gov.br. Acesso em: 22/01/2022. [\[Retornar ao texto\]](#)

SŁYŚ, D. Water and Environment Journal. Potential of rainwater utilization in residential housing in Poland. 23, 318-325, 2009. [\[Retornar ao texto\]](#)

WU, J.; YANG, R.; SONG, J. Effectiveness of low-impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: a case study in Shenzhen, China. Natural Hazards Earth System Sciences, v. 18, p. 2525-2536, 2018. [\[Retornar ao texto\]](#)

WU, J. Y.; THOMPSON, J. R.; KOLKA, R. K.; FRANZ, K. J.; STEWART, T. W. Using the Storm Water Management Model to predict urban headwater stream hydrological response to climate and land cover change. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 17, n. 12, p. 4743-4758, 10.5194/hess-17-4743-2013, 2013. [\[Retornar ao texto\]](#)

ZANANDREA, F.; SILVEIRA, A. L. L. Effects of LID Implementation on Hydrological Processes in an Urban Catchment under Consolidation in Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, [S.l.], v. 33, n. 3, p. 443-456, set. 2018. ISSN 1982-8470. Disponível em: <http://www.revistasbm.com.br/rbmet/article/view/141>. [\[Retornar ao texto\]](#)

ZHANG, M., CHEN, H., WANG, J., PAN, G. *Journal of Environmental Sciences*. Rainwater utilization and storm pollution control based on urban runoff characterization. 22, 40-46, 2010. [\[Retornar ao texto\]](#)

ZHANG, X.; HU, M.; CHEN, G.; XU, Y. Urban Rainwater Utilization and its Role in Mitigating Urban Waterlogging Problems—A Case Study in Nanjing, China. *Water Resour Manage.* v. 26, p. 3757-3766, 2012. [\[Retornar ao texto\]](#)

ANEXOS

Tabela 26 - Volume mensal de água consumida e K, em Campo Grande-MS período de 2006 a 2015 (x1.000 m³)

Mês	Ano										Média Mensal	K
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
jan	2884	2905	3050	3409	3213	3387	3790	3753	4120	4343	3.485	0,993564663
fev	2955	2889	3010	3163	2929	3184	3493	3917	4243	3938	3.372	0,961266828
mar	2911	3303	3075	3056	2973	3363	3670	3794	3954	4429	3.453	0,984271553
abr	2837	3233	2974	3148	3173	3396	3744	3625	4049	4053	3.423	0,975833636
mai	2833	3135	2928	3084	3413	3369	3417	3787	3815	4023	3.380	0,963632865
jun	2842	3107	2953	2847	2845	3415	3401	3722	3677	3954	3.276	0,933957625
jul	2874	3209	3028	2798	3159	3125	3285	3500	4013	4213	3.320	0,94652898
ago	3113	3352	3232	2933	3370	3557	3789	3982	4068	4297	3.569	1,017481596
set	3021	3621	3230	3043	3825	3898	4216	4037	4538	4481	3.791	1,08068045
out	2977	3669	3013	3180	3270	3540	3779	3917	4741	4462	3.655	1,041854631
nov	3169	3608	3248	3281	3459	3994	3909	3877	4543	5119	3.821	1,089146872
dez	3122	3594	3129	3010	3428	3610	3693	3791	4043	4073	3.549	1,011780301
Média Anual											3.508	

Adaptado de Planurb (2016)

Tabela 27 - Volume Médio Mensal Aproveitável (m³)

Sub-Bacia	Área de Telhado (ha)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual Captável (m³)
S1	8,00	14.522	9.338	8.395	6.440	5.932	4.072	2.566	2.058	5.604	7.219	10.506	12.191	88.845
S2	27,35	49.648	31.925	28.700	22.016	20.281	13.922	8.774	7.037	19.160	24.681	35.918	41.677	303.738
S3	19,72	35.797	23.019	20.693	15.874	14.623	10.038	6.326	5.074	13.815	17.795	25.898	30.050	219.002
S4	40,94	74.318	47.788	42.961	32.955	30.358	20.840	13.134	10.533	28.681	36.944	53.766	62.386	454.663
S5	49,56	89.965	57.850	52.006	39.894	36.750	25.228	15.899	12.751	34.720	44.723	65.086	75.522	550.394
S6	26,67	48.414	31.131	27.986	21.468	19.776	13.576	8.556	6.862	18.684	24.067	35.025	40.641	296.186
S7	21,26	38.593	24.816	22.309	17.113	15.765	10.822	6.820	5.470	14.894	19.185	27.920	32.397	236.105
S8	27,27	49.503	31.832	28.616	21.951	20.221	13.882	8.748	7.016	19.104	24.608	35.813	41.555	302.850
S9	8,79	15.956	10.260	9.224	7.076	6.518	4.474	2.820	2.261	6.158	7.932	11.544	13.395	97.618
S10	9,97	18.098	11.638	10.462	8.025	7.393	5.075	3.198	2.565	6.985	8.997	13.093	15.193	110.723
S11	2,99	5.428	3.490	3.138	2.407	2.217	1.522	959	769	2.095	2.698	3.927	4.556	33.206
S12	5,32	9.657	6.210	5.583	4.282	3.945	2.708	1.707	1.369	3.727	4.801	6.987	8.107	59.082
S13	6,66	12.090	7.774	6.989	5.361	4.939	3.390	2.137	1.713	4.666	6.010	8.746	10.149	73.963
S14	2,56	4.647	2.988	2.686	2.061	1.898	1.303	821	659	1.793	2.310	3.362	3.901	28.430
S15	17,67	32.076	20.626	18.542	14.224	13.103	8.995	5.669	4.546	12.379	15.945	23.206	26.926	196.236
S16	16,71	30.333	19.505	17.535	13.451	12.391	8.506	5.361	4.299	11.706	15.079	21.945	25.463	185.575
TOTAL	291,44	529.045	340.192	305.825	234.598	216.109	148.355	93.494	74.982	204.171	262.995	382.742	444.108	3.236.616

[\[Retornar ao texto\]](#)

Tabela 28 - Consumo Médio Mensal (m³)

Sub-Bacia	População (habitantes)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Consumo Médio Anual (m³)
S1	1.441	7.073	6.401	7.006	6.722	6.859	6.434	6.738	7.243	7.444	7.416	7.503	7.202	84.042
S2	4.384	21.517	19.474	21.316	20.451	20.869	19.574	20.498	22.035	22.649	22.563	22.826	21.911	255.683
S3	3.106	15.244	13.797	15.102	14.489	14.785	13.868	14.523	15.611	16.046	15.985	16.172	15.524	181.147
S4	4.716	23.146	20.949	22.930	22.000	22.449	21.056	22.051	23.704	24.364	24.271	24.555	23.571	275.045
S5	6.854	33.640	30.447	33.325	31.974	32.626	30.602	32.047	34.450	35.409	35.275	35.686	34.257	399.737
S6	4.841	23.760	21.504	23.538	22.583	23.044	21.614	22.635	24.332	25.010	24.915	25.205	24.196	282.336
S7	6.694	32.855	29.736	32.547	31.227	31.865	29.887	31.299	33.645	34.582	34.451	34.853	33.457	390.406
S8	6.253	30.690	27.777	30.403	29.170	29.766	27.918	29.237	31.429	32.304	32.182	32.557	31.253	364.686
S9	2.377	11.666	10.559	11.557	11.089	11.315	10.613	11.114	11.947	12.280	12.233	12.376	11.880	138.631
S10	1.583	7.769	7.032	7.697	7.385	7.535	7.068	7.402	7.956	8.178	8.147	8.242	7.912	92.323
S11	686	3.367	3.047	3.335	3.200	3.265	3.063	3.208	3.448	3.544	3.531	3.572	3.429	40.009
S12	1.224	6.007	5.437	5.951	5.710	5.826	5.465	5.723	6.152	6.323	6.299	6.373	6.118	71.386
S13	787	3.863	3.496	3.827	3.671	3.746	3.514	3.680	3.956	4.066	4.050	4.098	3.933	45.899
S14	2.410	11.828	10.706	11.718	11.243	11.472	10.760	11.268	12.113	12.451	12.403	12.548	12.045	140.555
S15	4.959	24.339	22.029	24.111	23.134	23.606	22.141	23.187	24.925	25.619	25.522	25.820	24.785	289.218
S16	7.697	37.777	34.191	37.424	35.906	36.639	34.365	35.989	38.687	39.764	39.613	40.076	38.470	448.903
TOTAL	60.012	294.543	266.583	291.788	279.954	285.669	267.941	280.599	301.633	310.034	308.858	312.462	299.943	3.500.005,28

[\[Retornar ao texto\]](#)

Tabela 29 - Balanço Mensal por sub-bacia

Sub-Bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Deficit Anual (m³)	Sobra Anual (m³)	TOTAL
S1	7.450	2.937	1.389	-283	-927	-2.361	-4.171	-5.185	-1.840	-197	3.003	4.989	-14.964	19.767	4.803
S2	28.131	12.451	7.384	1.564	-588	-5.651	-11.724	-14.998	-3.488	2.118	13.092	19.766	-36.451	84.506	48.056
S3	20.553	9.221	5.592	1.384	-162	-3.829	-8.197	-10.538	-2.231	1.810	9.726	14.526	-24.957	62.812	37.855
S4	51.171	26.839	20.031	10.955	7.909	-216	-8.917	-13.171	4.317	12.673	29.211	38.815	-22.303	201.921	179.618
S5	56.325	27.404	18.681	7.920	4.123	-5.374	-16.148	-21.699	-689	9.448	29.400	41.265	-43.910	194.566	150.656
S6	24.654	9.627	4.449	-1.115	-3.268	-8.038	-14.079	-17.470	-6.326	-848	9.820	16.445	-51.143	64.994	13.851
S7	5.738	-4.919	-10.238	-14.114	-16.100	-19.065	-24.479	-28.176	-19.689	-15.266	-6.933	-1.060	-160.039	5.738	-154.301
S8	18.813	4.055	-1.787	-7.219	-9.544	-14.037	-20.489	-24.413	-13.200	-7.573	3.256	10.302	-98.262	36.426	-61.836
S9	4.290	-299	-2.333	-4.013	-4.797	-6.138	-8.294	-9.686	-6.122	-4.301	-833	1.514	-46.817	5.804	-41.013
S10	10.329	4.606	2.765	641	-142	-1.993	-4.203	-5.391	-1.194	850	4.851	7.281	-12.923	31.323	18.399
S11	2.061	443	-198	-793	-1.048	-1.541	-2.248	-2.679	-1.449	-832	355	1.128	-10.789	3.986	-6.803
S12	3.650	773	-369	-1.428	-1.882	-2.757	-4.016	-4.783	-2.596	-1.499	614	1.989	-19.330	7.025	-12.304
S13	8.227	4.278	3.162	1.690	1.192	-124	-1.543	-2.242	600	1.960	4.649	6.215	-3.909	31.973	28.064
S14	-7.181	-7.717	-9.031	-9.182	-9.574	-9.457	-10.447	-11.455	-10.657	-10.093	-9.186	-8.144	-112.125	0	-112.125
S15	7.737	-1.403	-5.569	-8.910	-10.503	-13.146	-17.518	-20.379	-13.240	-9.577	-2.614	2.141	-102.860	9.878	-92.982
S16	-7.444	-14.686	-19.889	-22.455	-24.248	-25.859	-30.628	-34.388	-28.058	-24.534	-18.131	-13.007	-263.328	0	-263.328
TOTAL	234.503	73.609	14.038	-45.357	-69.561	-119.586	-187.105	-226.651	-105.862	-45.863	70.280	144.165	-1.024.110	760.721	-263.389

Tabela 30 – Parâmetros resultantes do processo de calibração do modelo, usados nas simulações das sub-bacias

Parameter	Unit	Subcatchment															
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Área	ha	64,50	171,42	129,19	201,15	206,80	139,46	153,89	170,35	115,95	97,54	46,91	83,71	56,86	210,29	272,31	354,54
Width	m	1141,33	3275,24	5487,24	4328,23	6052,54	827,52	1210,84	1150,84	1874,30	1505,92	398,42	621,65	2505,45	1910,66	2860,96	4189,89
Slope	%	10.37	7.65	7.01	6.87	5.07	5.35	2.67	4.92	7.18	7.14	7.59	4.45	7.02	5.32	3.50	4.05
Flow Length	m	379.83	338.73	155.21	293.75	224.76	1106.59	921.24	1105.65	436.67	422.74	924.34	987.38	208.25	853.09	702.56	583.54
Impervious areas	%	42,44	44,88	46,49	42,19	45,25	41,43	39,52	39,92	22,28	28,22	19,52	28,11	29,95	6,42	16,74	18,05
Manning's n for impervious areas	-	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0.023	0.024	0.023	0.010	0.011	0.016	0.023	0.016	0.016	0.024	0.023
Manning's n for pervious areas	-	0,406	0.409	0.409	0.405	0.409	0.409	0.361	0.409	0.403	0.394	0.386	0.333	0.407	0.075	0.385	0.315
Depression storage of impervious	mm	2.5	2.5	2.5	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Depression storage of pervious	mm	3.433	3.378	3.125	3.525	3.319	3.305	3.384	3.467	4.16	4.239	5.083	4.344	4.418	6.54	4.184	5.128
Curve Number	-	87	87	87	87	87	73	71	73	71	71	68	68	65	59	60	58
Time of Concentration (SCS Method)	min	9.30	9.89	5.53	9.43	8.86	47.29	61.97	49.30	20.56	20.09	39.46	54.37	13.62	56.11	57.57	48.74