



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil

**MICRORRESERVATÓRIOS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO COMO UMA
ALTERNATIVA PARA REDUZIR A VAZÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM
URBANA**

ARTHUR MINDÊLLO ZANDONÁ

JOÃO PESSOA - PB

2022

ARTHUR MINDÊLLO ZANDONÁ

**MICRORRESERVATÓRIOS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO COMO UMA
ALTERNATIVA PARA REDUZIR A VAZÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM
URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito à obtenção
do título Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Gustavo Barbosa Lima da
Silva.

JOÃO PESSOA – PB

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

Z27m Zandoná, Arthur Mindello.

Microrreservatórios de controle de escoamento como uma alternativa para reduzir a vazão no sistema de drenagem urbana / Arthur Mindello Zandoná. - João Pessoa, 2022.

55 f. : il.

Orientação: Gustavo Barbosa Lima da Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/BSCT.

1. Drenagem urbana. 2. Microrreservatórios de controle de escoamento. 3. Medidas estruturais. 4. Enchentes. I. Silva, Gustavo Barbosa Lima da. II. Título.

UFPB/BSCT

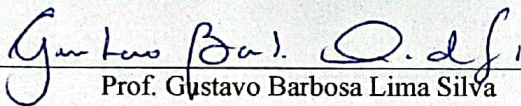
CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ARTHUR MINDÊLLO ZANDONÁ

MICRORRESERVATÓRIOS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO COMO UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR A VAZÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

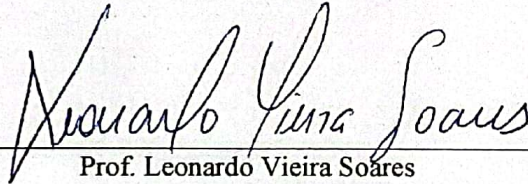
Trabalho de Conclusão de Curso em 14/12/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Gustavo Barbosa Lima Silva

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

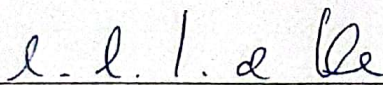
APROVADO



Prof. Leonardo Vieira Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

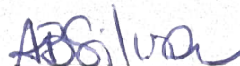
APROVADO



Prof.ª Ana Cristina Souza da Silva

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

RESUMO

A partir da rápida urbanização brasileira na segunda metade do século XX e, conseqüentemente, a impermeabilização do solo, a população vem sofrendo sérios problemas, a exemplo das enchentes nos grandes centros urbanos. Dentro desse contexto, medidas estruturais de controle de escoamento na fonte vêm sendo discutidas nos dias atuais, com o intuito de diminuir os impactos gerados pela urbanização. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a técnica compensatória do microrreservatório de controle de escoamento em escala residencial como uma alternativa viável para minimizar a ocorrência de alagamentos. Além disso, foi demonstrado a metodologia de dimensionamento de um pequeno reservatório de retenção em diferentes cenários de simulação, assim como foi realizado o orçamento para a construção do mesmo. Variando as zonas urbanas, o uso e ocupação do solo, as áreas dos lotes e parâmetros de projeto, foram realizados o dimensionamento e orçamento sintético para um total de 144 cenários, em que foi observado que a parcela de custo de implantação de tal sistema não ultrapassou de 0,44% do custo total de uma residência, para o cenário mais crítico. O Método Simplificado de McCuen foi utilizado para realizar o dimensionamento dos reservatórios, e as composições unitárias de serviço, que serviram como base para a elaboração dos orçamentos, foram extraídas do SINAPI. Os resultados apresentados mostram que há uma forte correlação entre a área de ocupação do lote e o volume do reservatório e entre a área de ocupação do lote e custo total do reservatório. Partindo de gráficos de dispersão, foi possível plotar a curva que melhor se ajustava aos pontos, para que seja possível realizar estimativas de volume e de custo tendo em mente somente a área de ocupação.

Palavras chaves: drenagem urbana, microrreservatórios de controle de escoamento, medidas estruturais, enchentes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais elementos da microdrenagem.	14
Figura 2 - Variação populacional no Brasil.	15
Figura 3 - Efeito da urbanização no hidrograma da bacia.	16
Figura 4 – Representação do microrreservatório em planta e em corte.	20
Figura 5 - Hidrograma típico de pequenas áreas urbanas: Sem armazenamento x Com armazenamento.	21
Figura 6 - Hidrograma do método racional.	23
Figura 7 - Hidrogramas de pré e de pós-urbanização.	24
Figura 8 - Fluxograma da metodologia utilizada.	27
Figura 9 - Parte do zoneamento urbano da cidade de João Pessoa.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de runoff.	16
Tabela 2 - Medidas para o controle de inundações.	17
Tabela 3 - Área da seção transversal dos descarregadores de fundo.....	25
Tabela 4 - Classificação e codificação dos usos do solo em João Pessoa - PB.....	28
Tabela 5 - Cenários utilizados para o estudo.....	29
Tabela 6 - Coeficientes da curva IDF para João Pessoa - PB.....	30
Tabela 7 - Composições unitárias de serviço utilizadas para o orçamento sintético.....	33
Tabela 8 - Valores do CUB/m ² para projetos padrão residenciais.	34
Tabela 9 – Vazões de pico de pré-urbanização.	36
Tabela 10 – Vazões de pico de pós-urbanização.	36
Tabela 11 - Custo do microrreservatório frente ao custo total de uma residência.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo Geral.....	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. Sistema de drenagem e manejo de águas pluviais	13
3.2. Impactos da urbanização no sistema de drenagem urbana	14
3.3. Medidas de controle de inundações	17
3.3.1. Medidas Estruturais	18
3.3.2. Medidas não estruturais	19
3.4. Sistema de microrreservatório de retenção em lote	19
3.4.1. Dimensionamento de microrreservatório de retenção em lote	21
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. Definição dos cenários.....	27
4.2. Definição dos dados de entrada	29
4.2.1. Área de contribuição.....	29
4.2.2. Chuva de projeto.....	30
4.2.3. Tempo de recorrência	30
4.2.4. Tempo de concentração	30
4.2.5. Coeficiente de <i>runoff</i>	31
4.3. Dimensionamento do microrreservatório em lote	31
4.4. Orçamentos sintéticos dos microrreservatórios	33
5. RESULTADOS	35
5.1. Vazões de pico de pré e pós-urbanização	35
5.2. Volumes dos microrreservatórios de controle de escoamento.....	37
5.3. Diâmetro do descarregador de fundo	38

5.4. Orçamento.....	38
5.5. Relação entre a área de ocupação e o volume do microrreservatório.....	40
5.6. Relação entre a área de ocupação e o custo do microrreservatório	40
6. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
APÊNDICE	46

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito e essencial para a sobrevivência da espécie humana. Na pré-história, os seres humanos passaram de nômades para sedentários e começaram a desenvolver as primeiras organizações sociais. Isso só foi possível devido ao fato de que esses indivíduos escolheram margens de rios como local para se fixarem, a fim de desenvolver o domínio da agricultura, que necessitava terras férteis (FABER, 2011). Ou seja, é correto afirmar que a água foi a base para o desenvolvimento da civilização humana.

Ao longo dos anos, essas organizações sociais foram se desenvolvendo, expandindo seu território e, mais recentemente, passaram por um processo de urbanização. Esse processo ocorreu paralelamente ao fenômeno da impermeabilização do solo, a partir do advento das tecnologias da pavimentação. Segundo Canholi (2015), a impermeabilização do solo ocorreu primeiramente em regiões próximas aos rios ou ao mar e, posteriormente, em regiões de morros e taludes. Isso explica o fato de que as regiões marginais aos rios e a beira mar fossem atingidas periodicamente por alagamentos, devido ao aumento das vazões de pico, o aumento da velocidade de escoamento e a diferença de cota geométrica.

A correlação entre a impermeabilização do solo e o aumento do número de eventos de alagamentos, enchentes e inundações é evidenciado por diversos autores. De acordo com Tucci (1997), os principais problemas decorrentes da substituição do solo natural por um pavimento impermeável são: aumento do escoamento superficial e das vazões de pico, diminuição da evapotranspiração, aumento da geração de resíduos sólidos e diminuição da qualidade das águas superficiais.

No Brasil, várias cidades passaram por esse processo de urbanização de forma desorganizada, o que ocasionou inúmeros problemas para a população. A exemplo, temos os casos de São Paulo, Rio de Janeiro e Recife, como capitais que sofrem regularmente com inundações, que comprovam a necessidade de encontrar soluções alternativas que reduzam as vazões no sistema de drenagem. O controle do sistema de drenagem urbana está nas mãos das prefeituras e cabe a ela realizar obras de ampliação do sistema e manutenções a fim de diminuir os impactos que a chuva causa (CANHOLI, 2015).

O Plano Diretor de uma cidade prevê o uso e ocupação do solo de acordo com cada zona urbana e deve ser compatível com a infraestrutura tanto de saneamento básico, quanto da pavimentação de cada região do município. Caso contrário, a urbanização poderá ocorrer sem

o devido planejamento, como citados anteriormente. Logo, é de grande importância para uma cidade ter um Plano Diretor bem elaborado e que está dentro da realidade da cidade. Dentro da infraestrutura do saneamento básico, existem quatro grandes áreas, são elas: abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais. Esse último será objeto de estudo do presente trabalho, tendo como principal foco a utilização de microrreservatórios de controle de escoamento no interior de lotes para reduzir as vazões de pico.

O microrreservatório de controle de escoamento consiste em um sistema formado pelo telhado, calhas, condutos verticais e horizontais e um pequeno reservatório. A precipitação irá escoar sobre o telhado da edificação e será direcionada para as calhas, que irão transportar a água até o reservatório, por meio dos condutos verticais e horizontais. A água fica armazenada temporariamente no microrreservatório e é liberada para o sistema de drenagem urbano através de um pequeno orifício localizado na sua base. Dessa forma, a vazão de saída do lote é reduzida consideravelmente e irá contribuir para a diminuição do número de alagamentos.

Dessa forma, a implementação de um microrreservatório de controle de escoamento em um ambiente de pequena escala apresenta-se como uma solução alternativa viável para encarar os desafios da drenagem urbana. Tal reservatório tem como principal função: reduzir o pico das enchentes, através do amortecimento das ondas de cheia, armazenando parcela dos volumes gerados no escoamento superficial (MIGUEZ *et al.*, 2016).

Portanto, o presente trabalho irá destacar a implementação de reservatório em lote como uma forma de mitigar os problemas que normalmente ocorrem no sistema de drenagem urbano. Além disso, também será apresentado o dimensionamento e o orçamento para a construção de um microrreservatório em escala residencial, considerando diferentes cenários de zoneamento urbano, de uso e ocupação do solo, de tamanho do lote e de parâmetros de projeto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Conceder subsídio, por meio do dimensionamento e da estimativa orçamentária, para avaliar a implementação do microrreservatório de controle de escoamento em diferentes tipos de lote e de uso e ocupação do solo para a cidade de João Pessoa.

2.2. Objetivos Específicos

- Mensurar os custos de implantação de um sistema de microrreservatório de controle de escoamento em lote na cidade de João Pessoa, por meio das composições unitárias do SINAPI;
- Analisar as diferenças encontradas tanto no dimensionamento quanto na estimativa orçamentária para determinadas zonas de urbanização, tipo de uso e ocupação do solo, tamanho do lote, vazão de saída do microrreservatório e tempo de retorno para a chuva de projeto;
- Avaliar a viabilidade do emprego do microrreservatório para diferentes cenários de estudo propostos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Sistema de drenagem e manejo de águas pluviais

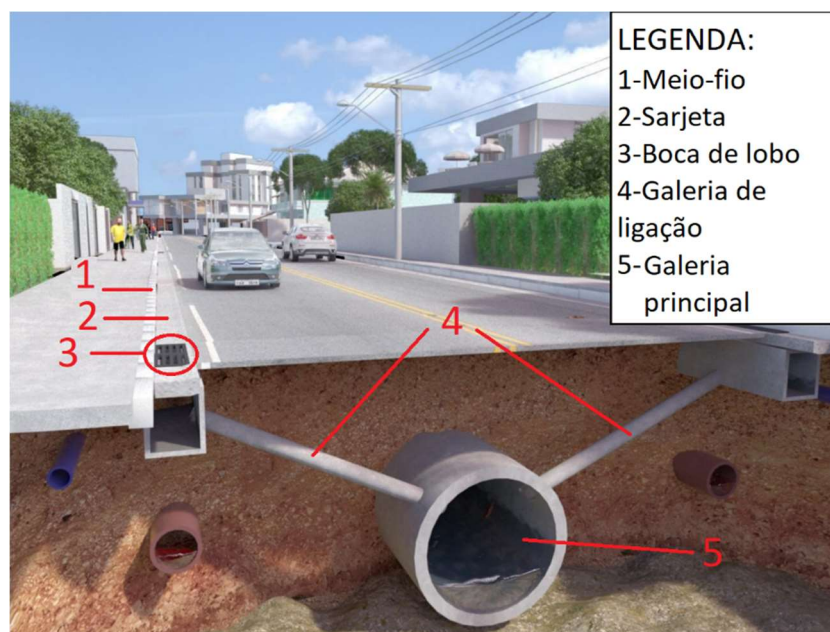
De acordo com Tucci (2012), o sistema de drenagem urbano é constituído pelo gerenciamento e manejo das águas pluviais no tempo e no espaço, com o intuito de amenizar os impactos causados à população e ao meio ambiente. Esse sistema se divide em dois grandes grupos, que são: a microdrenagem e macrodrenagem.

O primeiro grupo é composto pelo conjunto de meios-fios, sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita, galerias, condutos forçados, estações de bombeamento e sarjetões e tem como principal função coletar as águas da chuva em áreas urbanas (NETO, 2009).

- Meio-fio: é uma estrutura paralela ao eixo da via pública composta de blocos de concreto ou pedra, que tem a função de dividir a rua da calçada.
- Sarjeta: é uma espécie de calha formada pelo limite da via e o meio-fio e que possui uma inclinação em relação ao eixo do pavimento, para que seja possível a coleta das águas pluviais.
- Boca-de-lobo: tem como função receber as águas pluviais da sarjeta.
- Poço de visita: é uma estrutura que permite o acesso ao interior do sistema de drenagem para realizar as manutenções necessárias.
- Galeria: é a tubulação reservada a transportar as águas pluviais tanto das bocas-de-lobo quanto das ligações privadas.
- Condutos forçados e estação de bombeamento: essa alternativa é utilizada quando não é possível a água pluvial escoar por gravidade.
- Sarjetão: similares às sarjetas, visto que possuem função de coletar as águas pluviais, porém estão localizados nos cruzamentos das vias públicas.

Já a macrodrenagem é formada por uma estrutura de maior porte a fim de coletar e transportar as águas pluviais escoadas pela rede de microdrenagem até o seu destino final, seja ele um curso d'água, um rio ou um canal. Essas estruturas são projetadas de acordo com as vazões, chuvas com tempo de retorno mais elevado, topografia, entre outros fatores. A seguir está apresentada a Figura 1 que esquematiza um sistema de drenagem urbana e identifica os seus principais elementos.

Figura 1- Principais elementos da microdrenagem.

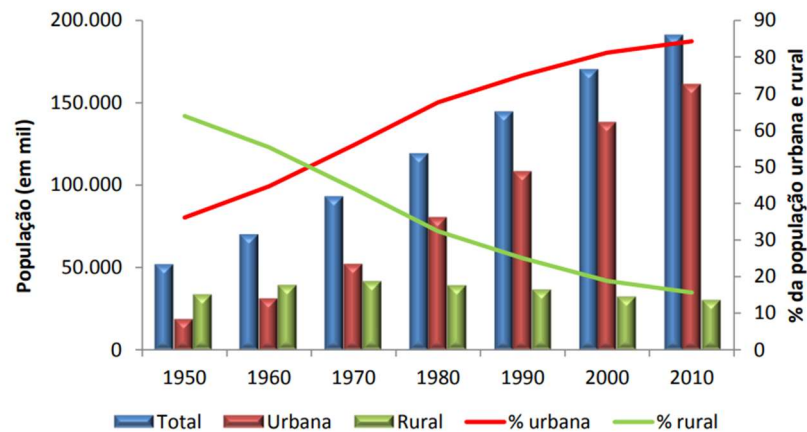


Fonte: Alves, Almeida e Fontul (2019). Adaptado pelo autor.

3.2. Impactos da urbanização no sistema de drenagem urbana

O fenômeno da urbanização ocorreu de forma acelerada no Brasil, ocasionando cidades com alto índice de adensamento populacional, como pode ser observado na Figura 2. Tal fato acarretou na ocupação de regiões ribeirinhas, que possuem risco de alagamento, além de resultar numa maior impermeabilização dos solos. Segundo Tucci (2012), a urbanização gera impactos sobre as águas urbanas, como por exemplo: perda de mananciais, diminuição da cobertura de água para a população, queda da qualidade da água nos rios e aumento da frequência de inundação.

Figura 2 - Variação populacional no Brasil.

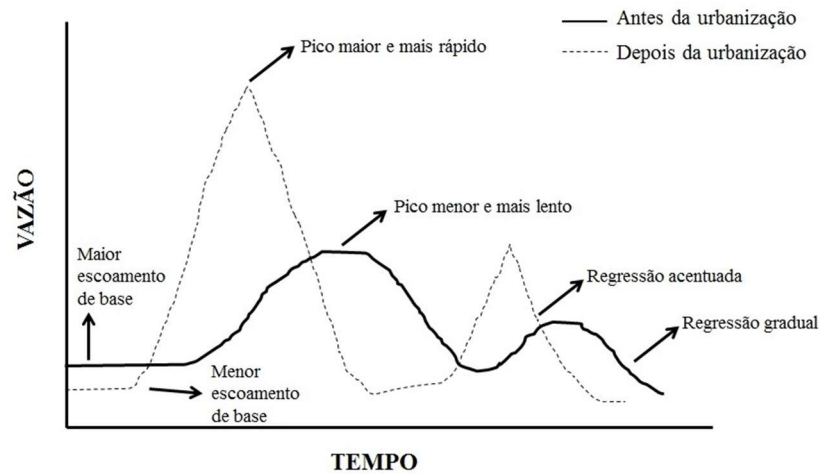


Fonte: Censos demográficos do IBGE.

A urbanização, inicialmente, gera modificações através do processo de ocupação do solo causando a degradação dos recursos naturais. Tal processo ocorre por meio da remoção da cobertura vegetal, que resulta em várias alterações no ciclo hidrológico: reduz a evapotranspiração, elimina a proteção do solo contra a erosão, reduz a capacidade de infiltração do solo e elimina a interceptação vegetal (MIGUEZ *et al.*, 2016).

O ciclo hidrológico é um conceito de extrema importância dentro da hidrologia, ele caracteriza os processos e os caminhos da água no planeta Terra. Suas principais parcelas de contribuição são: precipitação, evapotranspiração, infiltração, interceptação vegetal, retenção em depressões do terreno e os escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos. A urbanização gera impactos na maioria dessas parcelas do ciclo hidrológico, causando alterações no hidrograma da bacia: vazões de pico maiores, tempos de concentração menores e aumento do volume escoado. Os efeitos da urbanização no hidrograma da bacia são evidenciados na Figura 3.

Figura 3 - Efeito da urbanização no hidrograma da bacia.



Fonte: SCHUELER, 1987.

A impermeabilização dos solos ocorre na medida que o solo natural é substituído por pavimentos rodoviários, ruas, avenidas, calçadas, entre outros. O impacto desse processo sobre o manejo de águas pluviais torna-se evidente ao analisar as vazões de escoamento superficial. Na literatura, existem inúmeros modelos matemáticos que transformam a chuva em vazão e, para isso, considera-se algum coeficiente que represente a capacidade de infiltração do solo. A exemplo temos o Método Racional, que considera o coeficiente de *runoff* para tal finalidade e o Método do *Soil Conservation Service*, que considera o *Curve Number* (CN) para transformar a chuva em vazão.

Para o Método Racional, o coeficiente de escoamento superficial é um valor adimensional que varia de 0 a 1 e depende da declividade do terreno e das características da superfície. Ou seja, o valor da vazão de escoamento superficial é diretamente proporcional ao coeficiente de *runoff*. A seguir está apresentada a tabela 1, que exhibe os valores do coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 1 - Coeficientes de runoff.

Características da superfície	Coeficiente de escoamento superficial (c)
Ruas	
Pavimentação asfáltica	0,70 a 0,95
Pavimentação de concreto	0,80 a 0,95
Passeios	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terreno relvados (solos arenosos)	
Pequena declividade (< 2 %)	0,05 a 0,10
Declividade média (2 a 7 %)	0,10 a 0,15

Forte declividade ($> 7\%$)	0,15 a 0,20
Terrenos relvados (solos pesados)	
Pequena declividade ($< 2\%$)	0,15 a 0,20
Declividade média (2 a 7 %)	0,20 a 0,25
Forte declividade ($> 7\%$)	0,25 a 0,30

Fonte: CETESB (1986).

Para superfícies como pavimentação de concreto ou asfáltica, que são superfícies comumente encontradas nas cidades, temos valores variando entre 0,70 e 0,95 para o coeficiente de *runoff*, enquanto que para terrenos relvados, que são terrenos similares às condições de pré-ocupação, o coeficiente fica entre os valores de 0,05 e 0,30. Dessa forma, a vazão de escoamento superficial poderá aumentar em até 19 vezes ao substituir o solo natural por uma superfície impermeável. Logo, conclui-se que a partir da urbanização e a consequente impermeabilização dos solos é um fator preponderante para o aumento das vazões de escoamento e o aumento da frequência de inundação.

3.3. Medidas de controle de inundações

De acordo com o que foi apresentado na seção anterior, as cidades tiveram que desenvolver planos de contenção para diminuir o número de inundações, chamados de projetos de controle de cheia. Tais projetos devem prever tanto medidas estruturais como não estruturais, que estão demonstradas na tabela 2.

Tabela 2 - Medidas para o controle de inundações.

Tipo de medida		Descrição
Estruturais	Extensiva (hidrológica)	Agem na bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão.
	Intensiva (hidráulica)	Agem diretamente na calha do rio, modificando as grandezas hidráulicas e características hidrodinâmicas do escoamento.
Não Estruturais		Regulamentação do uso do solo;
		Zoneamento das áreas de inundação;
		Sistema de previsão e alerta de inundações;
		Educação ambiental voltada ao controle da poluição, da erosão e do lixo.

Fonte: Adaptado de Simons, 1977.

Dessa forma, as medidas estruturais são aquelas que possuem componentes físicos ou obras de engenharia como parte componente da infraestrutura, a exemplo de reflorestamento das margens de um rio ou construção de reservatórios. Já as medidas não estruturais buscam a

mudança de pensamento da população, por meio de ações sociais, disciplinamento do uso do solo e zoneamento de áreas de risco (HÜFFNER, 2013).

As medidas de controle também podem ser classificadas conforme a sua ação na bacia hidrográfica. Conforme Tucci (2005), essas medidas podem ser classificadas em três grupos, quais sejam: distribuída ou na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem. O primeiro grupo é um controle que atua sobre o lote privado ou áreas públicas, o segundo é um controle que atua sobre o hidrograma resultante de um ou mais lotes, e o último é o controle sobre os principais rios urbanos.

3.3.1. Medidas Estruturais

Tucci (1995) adota uma classificação para as medidas estruturais diferente da apresentada anteriormente. Segundo o autor, essas medidas são divididas em:

- Distribuídas: é o controle que atua sobre o lote, praças públicas e passeios. Também podem ser chamadas de controle na fonte;
- Na microdrenagem: é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- Na macrodrenagem: é o controle que atua sobre os rios e canais.

Uma das principais medidas estruturais na macrodrenagem é a canalização, que tem como finalidade aprimorar a capacidade hidráulica da rede, através da remoção de obstruções ao escoamento da calha principal dos rios e regularização das margens.

O reflorestamento das margens de rios é uma medida estrutural extensiva, que tem como objetivo reestabelecer o balanço hidrológico natural de uma bacia urbanizada. Miguez e Magalhães (2010) afirmam que o uso dessa técnica compensatória reduz o escoamento superficial, à medida que o reflorestamento previne a erosão, preserva a camada superficial do solo, resultando numa maior parcela de infiltração, semelhante a situação de pré-urbanização.

O reservatório de retenção em lote é um exemplo de medida estrutural distribuída que vem sendo bem propagada recentemente. Esses reservatórios têm como função atenuar os picos de cheia, por meio do amortecimento das ondas de cheia e do armazenamento de uma parcela do volume causado pelo escoamento superficial. A bacia de retenção é uma medida de controle estrutural muito semelhante à apresentada anteriormente, porém difere na proporção do projeto,

pois a segunda possui dimensões bem superiores à primeira, e na sua localização (geralmente em praças), por isso é classificada como medida estrutural na microdrenagem.

Logo, o presente trabalho focar-se-á no estudo da implementação e viabilidade econômica de microrreservatórios em lotes na cidade de João Pessoa-PB.

3.3.2. Medidas não estruturais

As medidas não estruturais não são físicas, isto é, não se trata de obras de engenharia. Portanto, tais medidas são leis, diretrizes, planos e ações que os governantes devem adotar para evitar possíveis inundações nas cidades.

A restrição da ocupação das planícies de inundação é a medida estrutural mais importante. Desse modo, zonear as áreas inundáveis de uma cidade apresenta-se como uma medida fundamental para reduzir os danos de uma enchente de grande porte. Pode ser realizado um mapeamento contendo manchas de inundação para eventos com diferentes tempos de recorrência (TR), por exemplo: 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a partir de modelagens hidrológicas da bacia hidrográfica. Desse modo, a partir dessas informações, deverão ser elaboradas leis e normas que regulamentem o uso e ocupação do solo, hierarquizando os possíveis usos de acordo com o risco a que cada área está sujeita (MIGUEZ e MAGALHÃES, 2010).

Uma outra medida não estrutural de grande importância é a concepção de sistemas de previsão e alerta de inundações, que deverão alertar a população de forma antecipada ao evento para saírem de sua residência e procurarem abrigo. O objetivo dessa medida é reduzir a vulnerabilidade da população em áreas de risco, através do poder público atuante e uma melhor capacidade de resposta dos habitantes. Esta alternativa, contudo, apresenta uma eficiência reduzida em bacias hidrográficas com tempo de concentração reduzido, isto é, bacias de resposta rápida, pois dificilmente a população será alertada a tempo de sair de suas casas.

3.4. Sistema de microrreservatório de retenção em lote

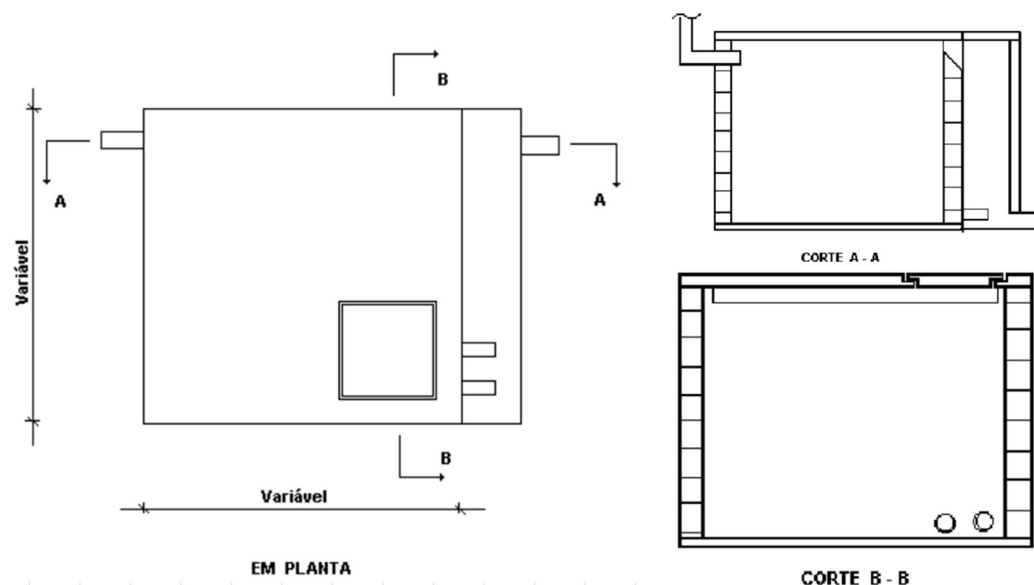
O adensamento populacional em grandes centros urbanos gera inúmeros problemas para o sistema de abastecimento de água, que poderá tornar-se insuficiente para abastecer a determinada população, e para o sistema de drenagem urbana, que sofre as consequências do fenômeno da impermeabilização do solo. Essas consequências estão relacionadas aos alagamentos que vêm ocorrendo de forma crescente nas capitais brasileiras, ocasionando danos à infraestrutura da cidade e a propriedades privadas. Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), o Brasil é sexto país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas, o que

nos mostra que o sistema de drenagem precisa buscar soluções alternativas para reduzir o número de alagamentos.

A partir dessas adversidades, o sistema de microrreservatório de retenção em escala residencial surge como uma alternativa para minimizar esses efeitos. Esse sistema consiste basicamente em um conjunto de calhas posicionadas na cobertura de uma residência, que irão direcionar as águas pluviais para os condutos verticais e horizontais chegando num pequeno reservatório de retenção, que direciona a água para o sistema de drenagem por meio de um pequeno orifício. A conservação poderá ser realizada em pequenos reservatórios espalhados pelo lote, por exemplo: em passeios, gramados, estacionamentos ou áreas esportivas e o método construtivo do tanque pode variar entre: aberto utilizando o relevo do terreno, enterrado em concreto, de tijolos ou de pedra (IPH, 2005).

A seguir está apresentada a Figura 4, que mostra o dispositivo de retenção que pode ser utilizado para o controle na fonte em planta e em corte.

Figura 4 – Representação do microrreservatório em planta e em corte.

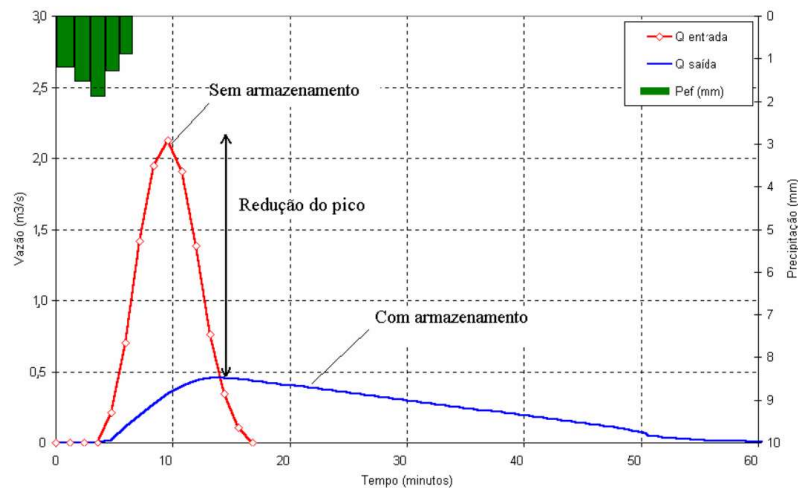


Fonte: Cruz *et al*, 1998.

Tal reservatório, como mencionado na seção 3.3.1, tem como função atenuar a vazão de pico de uma sub-bacia ou bacia, quando utilizada em larga escala dentro de uma cidade, isto é, grande parte dos lotes adotarem essa alternativa. Essa redução da vazão de pico ocorre por meio do amortecimento das ondas de cheia, armazenando parte dos volumes gerados pelo escoamento superficial, que poderão inclusive ser utilizados para fins não-potáveis como: rega de jardins, lavagem de carros e de pisos. Dessa forma, o empreendimento torna-se mais

economicamente sustentável, gerando um aumento na oferta global de água no sistema de abastecimento (MAGALHÃES *et al.*, 2003). A redução na vazão de pico pode ser evidenciada na Figura 5, que apresenta um exemplo de hidrograma para uma pequena área urbana comparando as situações com e sem a presença de um microrreservatório.

Figura 5 - Hidrograma típico de pequenas áreas urbanas: Sem armazenamento x Com armazenamento.



Fonte: Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005).

Bahiense (2013) constatou, por meio de modelagem matemática, que a implementação de reservatórios em lote conectados à rede de drenagem em um loteamento hipotético gerou uma redução em 19% da vazão total máxima, quando comparada a vazão de implantação do sistema de drenagem tradicional. Somado a isso, Magalhães *et al* (2003) analisaram o comportamento da vazão ao instalar um reservatório de 1 m³ de capacidade em um lote urbano na cidade do Rio de Janeiro – RJ, resultando numa eficiência de amortecimento de cerca de 29% para uma chuva de 5 anos de tempo de recorrência.

Portanto, o sistema de microrreservatório de controle de escoamento em lote tem potencial para reduzir a vazão de pico através do armazenamento das águas que normalmente iriam para o sistema de drenagem urbana, além de utilizá-la para consumo não potável.

3.4.1. Dimensionamento de microrreservatório de retenção em lote

O dimensionamento do microrreservatório de controle de escoamento consiste em determinar o seu volume, suas dimensões e o diâmetro do orifício de descarga. Para tanto, a determinação do volume dependerá da vazão de saída do microrreservatório, que para um projeto mais conservador se utilizada a vazão de pré-urbanização, da vazão de pico de pós-urbanização e da chuva de projeto. A escolha das dimensões do reservatório é realizada de

forma otimizada, de modo a reduzir os custos e para a escolha do diâmetro do orifício de descarga faz-se necessário calcular a área de sua seção e consultar valores pré-tabelados.

O cálculo do volume de detenção do microrreservatório é definido como o máximo armazenamento necessário para a manutenção da vazão de saída do lote, que muitas vezes é limitado por alguma lei municipal. São inúmeros métodos de cálculo utilizados para estimar esse volume, a exemplo: Curva Envelope-Tempo Crítico, Decreto-POA, Fórmula de Muller-Neuhaus, Método do corte dos hidrogramas, Método de Puls e o Método Simplificado de McCuen.

A metodologia de cálculo utilizada na presente monografia foi o Método Simplificado de McCuen, que faz algumas considerações de cálculo, quais sejam: chuva com intensidade constante, tempo de pico (t_d) igual ao tempo de concentração, tempo de base (t_b) igual a duas vezes o tempo de pico, utilização do Método Racional para determinar as vazões de pico e uso dos hidrogramas triangulares tanto para a entrada como para a saída do reservatório de detenção.

Logo, pelo Método Racional, é preciso primeiramente determinar a intensidade da precipitação, que deverá ser calculada pela curva IDF da região. A equação 1 apresenta o formato genérico para uma curva IDF:

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + B)^n} \quad (1)$$

Onde:

- i : intensidade máxima, em mm/h;
- T : tempo de recorrência, em anos;
- t : duração da chuva, em minutos;
- K, m, B e n : constantes que dependem do local.

Em seguida, determina-se a vazão de escoamento superficial, que será igual a vazão de pico, por meio da equação 2, que dependerá do coeficiente de *runoff* (apresentado na Tabela 1), e da área da bacia. Tal procedimento é repetido para as situações de pré-urbanização e de pós-urbanização, pois o coeficiente de escoamento superficial irá se modificar a partir da urbanização da bacia.

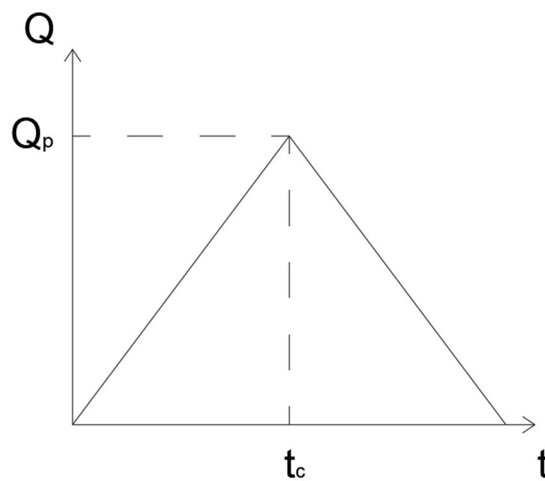
$$Q = 0,278.C.i.A \quad (2)$$

Em que:

- Q: vazão de escoamento superficial (m^3/s);
- C: coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de *runoff*);
- i: intensidade máxima de precipitação (mm/h);
- A: área de contribuição da bacia (km^2).

Logo após, são gerados os Hidrogramas Triangulares a partir dos pares vazão de pico (Q_p) e tempo de concentração (t_c). O hidrograma do método racional está apresentado na Figura 6 a seguir.

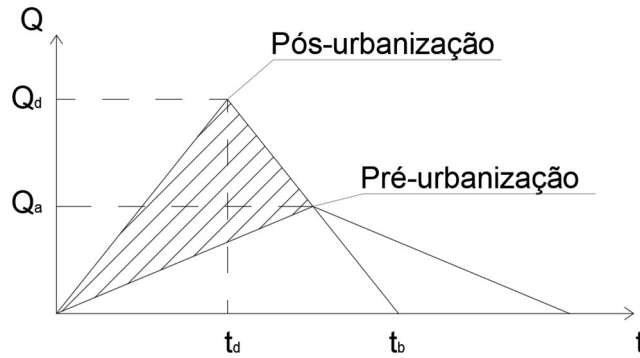
Figura 6 - Hidrograma do método racional.



Fonte: Autoria própria (2022).

Com posse desses valores, parte-se para a determinação do volume do reservatório, que é dado pela diferença entre as áreas dos hidrogramas de pós e de pré-urbanização (Figura 7), de acordo com a metodologia proposta por McCuen.

Figura 7 - Hidrogramas de pré e de pós-urbanização.



Fonte: Autoria própria (2022).

Desse modo, a área hachurada é matematicamente igual ao volume de retenção e é fornecido por:

$$V_s = \left(\frac{2 \cdot t_d \cdot Q_d}{2} \right) - \left(\frac{2 \cdot t_d \cdot Q_a}{2} \right) \rightarrow V_s = t_d \cdot Q_d - t_d \cdot Q_a$$

Dividindo ambos os lados da equação por Q_d :

$$\frac{V_s}{Q_d} = \frac{t_d \cdot Q_d - t_d \cdot Q_a}{Q_d} \rightarrow \frac{V_s}{Q_d} = t_d - \frac{t_d \cdot Q_a}{Q_d}$$

$$\frac{V_s}{Q_d} = t_d \cdot \left(1 - \frac{Q_a}{Q_d} \right)$$

$$V_s = \left(1 - \frac{Q_a}{Q_d} \right) \cdot Q_d \cdot t_d \quad (3)$$

Onde:

- V_s : volume de retenção, em m^3 ;
- Q_a : vazão de pico antes da urbanização, em m^3/s ;
- Q_d : vazão de pico depois da urbanização, em m^3/s ;
- t_d : tempo de concentração depois da urbanização, em segundos.

Por fim, determina-se o diâmetro do orifício de descarga, de forma a permitir a liberação gradual da água armazenada. Nicholas (1995) propôs a utilização da formulação de orifícios (equação 4), delimitando a vazão de projeto (Q) ao valor de pré-ocupação.

$$Q = C_D \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Em que:

- Q : vazão de pré-urbanização, em m^3/s ;
- C_D : coeficiente de descarga;
- A_o : área da seção do orifício de descarga, em m^2 ;
- g : aceleração da gravidade, em m/s^2 ;
- h : altura da lâmina d'água do reservatório.

Recomendações de manuais de hidráulica servem como base para a determinação do valor de C_D e diversos autores também recomendam determinados valores, a partir de estudos aplicados. Nicholas (1995) e Cruz (1998) propõem o valor de $C_D = 0,61$. Portanto, isolando o termo A_o da equação 4 é possível determinar a área do orifício de descarga e consultar o valor do diâmetro comercial na Tabela 3.

Tabela 3 - Área da seção transversal dos descarregadores de fundo.

Área (m^2)	Diâmetro comercial (mm)
0,00049	25
0,00071	30
0,00080	32
0,00126	40
0,00196	50
0,00283	60
0,00785	100
0,01766	150
0,03140	200
0,07065	300
0,12560	400
0,19625	500
0,28260	600
0,38465	700
0,50240	800

Fonte: Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005).

Portanto, ao se determinar o volume, as dimensões e o diâmetro do orifício de descarga, o microrreservatório de retenção em lote estará completamente dimensionado e pronto para ser implementado.

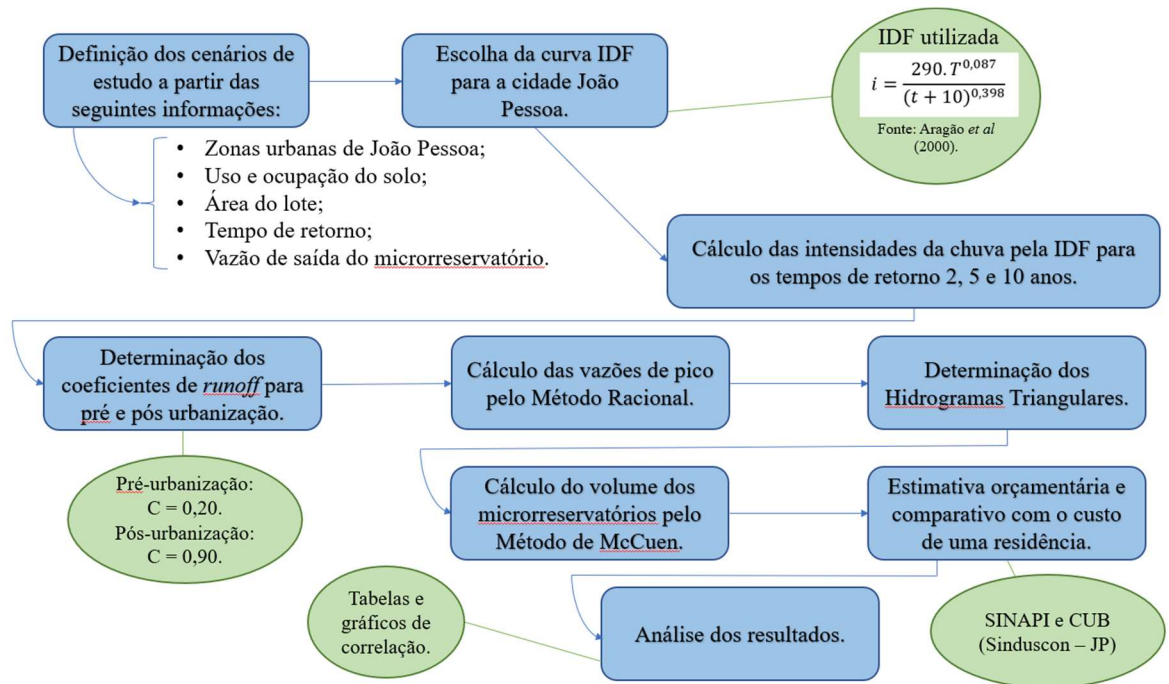
4. METODOLOGIA

Na monografia é realizado o dimensionamento de microrreservatórios de retenção em lote para diferentes zonas e uso do solo da cidade de João Pessoa – PB, bem como a sua estimativa orçamentária. Para isso é necessário, primeiramente, determinar as vazões de pré-urbanização, isto é, a vazão que a área de contribuição ao dispositivo possuía antes de ocorrer o processo de urbanização e, em seguida, é preciso determinar as vazões de pós-urbanização, ambas pelo Método Racional. Logo após, para a determinação das vazões de pico, aplica-se a Metodologia proposta por McCuen, por meio da equação 3. Esse método de dimensionamento é bastante utilizado, pois utiliza-se o Método Racional, que possui vasta bibliografia, e o uso dos Hidrogramas Triangulares, por serem práticos e fáceis de serem gerados.

Para que seja possível avaliar diferentes situações de projeto, considerou-se a variação de dois parâmetros: o tempo de recorrência e a vazão de saída pelo orifício do microrreservatório. O tempo de retorno variou entre os valores de 2, 5 e 10 anos, enquanto que as vazões de saída variaram entre os valores de vazão da pré-urbanização, 50% da vazão de pós-urbanização e 75% da vazão de pós-urbanização. Também foi adotado a área de ocupação do lote igual a área de captação da chuva, nesse caso a área do telhado da residência. O dimensionamento foi realizado pelo Método Simplificado de McCuen e foram escolhidos 16 cenários, variando a zona em que o lote se encontra e o uso e ocupação do mesmo, seguindo a classificação da prefeitura municipal de João Pessoa. Logo, um cenário de estudo é composto por cinco informações: zona urbana, classificação e uso do solo, área do lote, tempo de retorno e vazão de saída do microrreservatório.

Desse modo, para cada um dos 16 cenários estudados, variou-se o tempo de retorno em três valores e a vazão de saída em três valores também, resultando um total de 144 cenários analisados. A análise consistiu no dimensionamento e na estimativa orçamentária dos reservatórios, frente à essas variações de cenário apresentadas. Enfim, a Figura 8 a seguir apresenta um fluxograma que sintetiza as metodologias adotadas e que serão explanadas com maiores detalhes nos próximos subcapítulos.

Figura 8 - Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1. Definição dos cenários

Para os cenários de estudo propostos, a área do lote variou entre o seu valor mínimo e um valor correspondente a um aumento de 50% dessa área, ambas considerando a taxa de ocupação máxima. No presente trabalho foram considerados as seguintes zonas de uso de área urbana: Zona Residencial 1 (ZR1), Zona Residencial 2 (ZR2), Zona Axial Bancários (ZA5) e Zona Turística 3 (ZT3). Para cada uma dessas zonas também foi considerado o uso residencial R1 – unifamiliar e o uso residencial R2 – bifamiliar. Além disso, dentro dos critérios de dimensionamento, foi adotado três diferentes tipos de recorrência para a chuva: 2, 5 e 10 anos e também limitou-se a vazão de saída do microrreservatório em três valores: de pré-urbanização, 50% e 75% da vazão de pós-urbanização. Dessa forma, variando os critérios apresentados, o estudo resultou num total de 144 cenários. A seguir, na Figura 9, está apresentado parte do zoneamento da cidade de João Pessoa, com destaque para a ZR1, ZR2, ZT3 (localizada no bairro de Tambaú) e a ZA5 (localizada no bairro dos Bancários).

Segundo o Código de Urbanismo de João Pessoa, no artigo 168, existem no total 29 zonas de uso de áreas urbanas. Cada zona possui parâmetros a serem seguidos, a exemplo: uso do solo permitido conforme a Tabela 4, área mínima e frente mínima do lote, taxa de ocupação máxima, altura máxima da edificação e os recuos mínimos. Dessa forma, a Tabela 5 apresenta os 16 cenários a serem discutidos no presente trabalho.

Tabela 5 - Cenários utilizados para o estudo

Cenários utilizados para o estudo					
Cenário	Zona	Classificação do uso do solo	Área do lote (m ²)	Taxa de ocupação máxima (%)	Área de ocupação (m ²)
1	ZR1	R1	360,00	50%	180,00
2			540,00	50%	270,00
3		R2	450,00	50%	225,00
4			675,00	50%	337,50
5	ZR2	R1	200,00	70%	140,00
6			300,00	70%	210,00
7		R2	200,00	60%	120,00
8			300,00	60%	180,00
9	ZA5	R1	300,00	50%	150,00
10			450,00	50%	225,00
11		R2	450,00	50%	225,00
12			675,00	50%	337,50
13	ZT3	R1	360,00	70%	252,00
14			540,00	70%	378,00
15		R2	450,00	70%	315,00
16			675,00	70%	472,50

Fonte: Autoria própria (2022).

4.2. Definição dos dados de entrada

A seguir serão detalhados os cálculos para obter os dados de entrada que serão utilizados no dimensionamento do reservatório. São eles: a área de contribuição (A), chuva de projeto (i), tempo de retorno (T_R), tempo de concentração (t_c) e coeficiente de *runoff* (C).

4.2.1. Área de contribuição

A área de contribuição considerada é a área em que efetivamente irá ocorrer a precipitação, neste caso a área do telhado, que é matematicamente igual a área de ocupação do lote. Os valores para a área de contribuição estão apresentados na Tabela 5 na seção 4.1 do presente trabalho.

4.2.2. Chuva de projeto

Para obter a intensidade da chuva de projeto, é preciso determiná-la através da sua curva intensidade-duração-frequência (Curva IDF) característica daquela região. Tal curva é expressa pela equação 2 (seção 3.4.1).

Aragão *et al* (2000) realizaram estudos para determinar os coeficientes da equação IDF para a cidade de João Pessoa. Os resultados encontrados estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes da curva IDF para João Pessoa - PB.

Curva IDF - João Pessoa	
Coeficiente	Valor
B	10
n	0,398
m	0,087
K	290

Fonte: Aragão *et al* (2000).

Desse modo, substituindo esses coeficientes na equação 2, a equação da Curva IDF para João Pessoa é expressa pela equação 5:

$$i = \frac{290 \cdot T^{0,087}}{(t + 10)^{0,398}} \quad (5)$$

Logo, as variáveis desconhecidas para se determinar a chuva de projeto são: tempo de recorrência (T) e duração da chuva (t).

4.2.3. Tempo de recorrência

O tempo de recorrência refere-se ao nível de segurança desejado para o projeto e é definido como o período de tempo em que determinado evento poderá ser igualado ou superado, ao menos uma vez. O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Prefeitura de São Paulo (2012) recomenda um tempo de recorrência entre 2 e 10 anos para os projetos de microdrenagem. Para o presente trabalho, foram considerados três diferentes tempos de recorrência: 2, 5 e 10 anos, de modo a obter um grau maior de generalização em relação aos resultados do trabalho.

4.2.4. Tempo de concentração

Conforme apontam Miguez *et al* (2016), o tempo de concentração é definido como o tempo necessário para que toda bacia hidrográfica esteja contribuindo para o escoamento superficial

numa determinada seção. Ainda de acordo com os autores, em projeto hidráulicos, deve-se avaliar um tempo de duração para a chuva, que usualmente é adotado como sendo igual ao valor do tempo de concentração. Existem diversos métodos consagrados para calcular o tempo de concentração t_c : Fórmula de Kirpich, Fórmula de Dooge, SCS-Método Cinemático, George Ribeiro, entre outros. Como as áreas de contribuição dos cenários estudados são relativamente pequenas (dimensões de apenas 1 lote privado), os tempos de concentração calculados pelos métodos citados resultam em valores inferiores a 10 minutos. Os manuais de drenagem urbana utilizam o valor mínimo de tempo de concentração igual a 10 minutos, portanto, esse valor foi utilizado no dimensionamento dos microrreservatórios em lote.

4.2.5. Coeficiente de *runoff*

O Método Racional considera o coeficiente de escoamento superficial ou escoamento de runoff para transformar a precipitação em vazão, pois nem toda vazão gerada pela chuva transforma-se em escoamento superficial, principalmente devido à interceptação vegetal, retenções superficiais e infiltração. Tal coeficiente possui valor variando de 0 a 1 e representa quanto um solo é capaz de gerar escoamento superficial, ou seja, quanto maior o coeficiente de runoff, maior será a vazão de pico. Seus valores dependem das características da superfície: matas, campos e florestas possuem valor de C pequenos, enquanto os pavimentos de concreto e telhados, que são mais impermeáveis, possuem valores de C próximos a 1.

De acordo com a Tabela 1 (página 16), o tipo de superfície para a situação de pré-urbanização foi classificado como terrenos relvados de declividade média, enquanto que o tipo de superfície na situação de pós-urbanização foi classificado como telhados. Desse modo, adotou-se os seguintes valores de C para o dimensionamento dos microrreservatórios de detenção em lote:

$$C_{pré-ur} = 0,20$$

$$C_{pós-urb} = 0,90$$

4.3. Dimensionamento do microrreservatório em lote

Ao realizar o dimensionamento dos microrreservatórios de detenção em lote, limitou-se a altura dos mesmos em 1 metro, para que a cota de fundo do reservatório não ficasse abaixo da cota da rede pública de drenagem, visto que todo o escoamento ocorre por gravidade. Dessa forma, tendo em posse o volume e a altura máxima do microrreservatório, é possível determinar suas outras dimensões. Para tanto, foi adotado um tanque com base quadrada e, como para todos

os cenários analisados a altura foi limitada em 1 metro, a área da base variou conforme os parâmetros de projeto e é expressa pela equação 6:

$$V_{MR} = H \cdot A_B \rightarrow A_B = \frac{V_{MR}}{H} \quad (6)$$

Onde:

- V_{MR} : volume do microrreservatório;
- H : altura do microrreservatório;
- A_B : área da base do microrreservatório.

O tempo de recorrência e a vazão de saída do reservatório foram os parâmetros de projeto que sofreram alterações conforme cada cenário, de acordo com o apresentado anteriormente. Logo após, determinou-se as dimensões da base do reservatório (comprimento e largura), que são fornecidos pela equação 7:

$$C = L = \sqrt{A_B} \quad (7)$$

Onde:

- C : comprimento;
- L : largura;
- A_B : área da base.

Logo, tendo em mente os valores de comprimento, largura e altura do microrreservatório, foi possível obter todos os quantitativos para a realização da estimativa orçamentária do mesmo.

Já em relação ao método construtivo do reservatório, considerou-se o mesmo sendo enterrado e apoiado sobre um lastro de concreto magro de 5 cm de espessura. Também foi adotado parede em alvenaria estrutural, com armação em aço CA-50 de 10 mm de diâmetro e grauteamento dessas barras em cada um dos cantos da estrutura. Revestimentos internos como chapisco e reboco em massa única foram desconsiderados, visto que a infiltração da água pelas paredes do tanque e a consequente percolação para o solo é uma situação benéfica para o sistema, pois irá acarretar numa diminuição da vazão de saída. Foram consideradas duas lajes maciças de 10 cm de espessura e armação em aço CA-50 com 8 mm de diâmetro: uma para o fundo e a outra para o topo do reservatório.

4.4. Orçamentos sintéticos dos microrreservatórios

A metodologia utilizada para chegar nos orçamentos sintéticos dos reservatórios para cada cenário foi através das composições unitárias de serviço fornecidas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custo de Índices da Construção Civil (SINAPI). Tais composições são organizadas em tabelas e são divulgadas mensalmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em parceria com a Caixa Econômica Federal. O mês de referência utilizado na presente monografia foi o mês de Setembro do ano de 2022 e os custos foram considerados da forma não desonerada, ou seja, é computado a contribuição de 20% do INSS no preço da mão de obra.

As composições unitárias de serviço foram escolhidas com base no método construtivo apresentado anteriormente e estão identificados na Tabela 7.

Tabela 7 - Composições unitárias de serviço utilizadas para o orçamento sintético.

Item	Código	Descrição	Unidade	Custo Unitário
1	90091	Escavação mecanizada de vala com prof. até 1,5 m (média montante e jusante/uma composição por trecho), escavadeira (0,8 m ³), larg. de 1,5 m a 2,5 m, em solo de 1a categoria, locais com baixo nível de interferência. af_02/2021	m ³	R\$ 5,73
2	101617	Preparo de fundo de vala com largura maior ou igual a 1,5 m e menor que 2,5 m (acerto do solo natural). af_08/2020	m ²	R\$ 2,49
3	95241	Lastro de concreto magro, aplicado em pisos, lajes sobre solo ou radiers, espessura de 5 cm. af_07/2016	m ²	R\$ 27,95
4	92538	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 18 utilizações. af_09/2020	m ²	R\$ 26,03
5	92770	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. af_06/2022	kg	R\$ 13,43
6	89282	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), para paredes com área líquida menor que 6m ² , sem vãos, utilizando palheta e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. af_12/2014	m ²	R\$ 62,45
7	94964	Concreto fck = 20 MPa, traço 1:2,7:3 (em massa seca de cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. af_05/2021	m ³	R\$ 444,70
8	103670	Lançamento com uso de baldes, adensamento e acabamento de concreto em estruturas. af_02/2022	m ³	R\$ 237,97
9	89996	Armação vertical de alvenaria estrutural; diâmetro de 10,0 mm. af_09/2021	kg	R\$ 11,52

10	89993	Grauteamento vertical em alvenaria estrutural. af 09/2021	m ³	R\$ 907,07
11	41619	Tampa de concreto armado para poço, com furo e tampinha, d = 0,90 m, e = 0,05 m	un	R\$ 134,11

Fonte: SINAPI (2022).

Além disso, com o intuito de analisar a viabilidade econômica da implementação do reservatório em escala residencial, foi determinado o quanto sua construção representaria quando comparado ao custo total de uma habitação em termos percentuais. Para isso, utilizou-se os valores dos Custos Unitários Básicos de Construção (CUB), que são base de dados atualizadas mensalmente pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil de João Pessoa (Sinduscon-JP) e fornecem o custo por metro quadrado para a construção de alguma edificação. Para o presente estudo, considerou-se projeto residencial de médio padrão, uso e ocupação do solo R1 e mês de referência foi o mês de Outubro do ano de 2022. Desse modo, os valores do CUB/m² para projetos padrão residenciais estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores do CUB/m² para projetos padrão residenciais.

Padrão Baixo		Padrão Normal		Padrão Alto	
R-1	R\$ 1.660,76	R-1	R\$ 1.987,99	R-1	R\$ 2.430,02
PP-4	R\$ 1.444,72	PP-4	R\$ 1.789,73	R-8	R\$ 1.931,57
R-8	R\$ 1.374,88	R-8	R\$ 1.586,95	R-16	R\$ 2.067,84
PIS	R\$ 999,33	PIS	R\$ 1.526,76		

Fonte: Sinduscon JP (2022).

5. RESULTADOS

Com base na metodologia apresentada, foram obtidos resultados para cada cenário estudado utilizando o *software Excel*. Nas seções a seguir serão apresentados os números encontrados para: vazões de pico nas situações de pré-urbanização e pós-urbanização, o volume dos microrreservatórios, os orçamentos sintéticos e a estimativa de custo de implementação de um reservatório frente ao custo total de uma residência.

Para os cenários de estudo propostos, foram criados código para facilitar a compreensão do leitor e sintetizar as informações em um número menor de tabelas. Dessa forma, a nomenclatura segue a seguinte ordem: Zona de área urbana, Classificação do uso do solo, Tempo de retorno e vazão de saída do reservatório. Logo, foram utilizados os seguintes códigos:

- Zona de área urbana: Zona Residencial 1 (ZR1), Zona Residencial 2 (ZR2), Zona Axial Bancários (ZA5) e Zona Turística 3 (ZT3);
- Classificação do uso do solo: Unifamiliar (R1) e Bifamiliar (R2);
- Tempo de retorno: 2 anos (TR2), 5 anos (TR5) e 10 anos (TR10);
- Vazão de saída do reservatório: Pré-urbanização (Pré), 50% da Pós-urbanização (50%Pós) e 75% da Pós-urbanização (75%Pós).

Por exemplo, para o cenário localizado na Zona Residencial 2, uso do solo R1, tempo de retorno de 10 anos e vazão de saída do reservatório igual ao de pré-urbanização o código será: “ZR2-R1-TR10-Pré”.

5.1. Vazões de pico de pré e pós-urbanização

As vazões de pico para as situações de pré-urbanização e de pós-urbanização foram determinadas para os tempos de retorno 2, 5 e 10 anos e para um tempo de retorno de 10 minutos pelo Método Racional, com base nas equações 2 e 5. Dessa forma, os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Vazões de pico de pré-urbanização.

Cálculo das vazões de pico do hidrograma - Pré-Urbanização					
Zona	Classificação do uso do solo	Área da bacia (m²)	Q (L/s) - TR2	Q (L/s) - TR5	Q (L/s) - TR10
ZR1	R1	360,00	1,87	2,03	2,15
		540,00	2,81	3,04	3,23
	R2	450,00	2,34	2,53	2,69
		675,00	3,51	3,80	4,04
ZR2	R1	200,00	1,04	1,13	1,20
		300,00	1,56	1,69	1,79
	R2	200,00	1,04	1,13	1,20
		300,00	1,56	1,69	1,79
ZA5	R1	300,00	1,56	1,69	1,79
		450,00	2,34	2,53	2,69
	R2	450,00	2,34	2,53	2,69
		675,00	3,51	3,80	4,04
ZT3	R1	360,00	1,87	2,03	2,15
		540,00	2,81	3,04	3,23
	R2	450,00	2,34	2,53	2,69
		675,00	3,51	3,80	4,04

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 10 – Vazões de pico de pós-urbanização.

Cálculo das vazões de pico do hidrograma - Pós-Urbanização					
Zona	Classificação do uso do solo	Área da bacia (m²)	Q (L/s) - TR2	Q (L/s) - TR5	Q (L/s) - TR10
ZR1	R1	180,00	4,21	4,56	4,84
		270,00	6,32	6,84	7,27
	R2	225,00	5,26	5,70	6,05
		337,50	7,89	8,55	9,08
ZR2	R1	140,00	3,27	3,55	3,77
		210,00	4,91	5,32	5,65
	R2	120,00	2,81	3,04	3,23
		180,00	4,21	4,56	4,84
ZA5	R1	150,00	3,51	3,80	4,04
		225,00	5,26	5,70	6,05
	R2	225,00	5,26	5,70	6,05
		337,50	7,89	8,55	9,08
ZT3	R1	252,00	5,89	6,38	6,78
		378,00	8,84	9,58	10,17
	R2	315,00	7,37	7,98	8,48
		472,50	11,05	11,97	12,71

Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10, conclui-se que as vazões de pico tiveram um aumento de 8,30 % quando o tempo de recorrência passou de 2 para 5 anos, aumento de 15,03% quando o tempo de recorrência passou de 2 para 10 anos e um aumento de 6,22% quando o tempo de retorno passou de 5 para 10 anos. Isso mostra o impacto que os parâmetros de projeto podem causar no dimensionamento e no custo do microrreservatório de detenção em lote.

Também fica evidente que, para os cenários analisados, a vazão de pico irá depender apenas da área da bacia, pois tanto o coeficiente de *runoff* quanto a intensidade da precipitação permanecem constantes.

5.2. Volumes dos microrreservatórios de controle de escoamento

A partir dos resultados apresentados no tópico anterior, foi possível calcular o volume dos reservatórios pelo Método Simplificado de McCuen através da equação 3. Desse modo, variando o tempo de recorrência e a vazão de saída do microrreservatório, calcularam-se os volumes para os 144 cenários analisados, que estão apresentados no Apêndice.

Ao analisar os resultados obtidos, é possível concluir que o maior volume de reservatório ocorreu no cenário com as seguintes características: Zona Turística 3 (ZT3), uso R2, área de captação de 472,50 m², tempo de retorno de 10 anos e vazão de saída igual a vazão de pré-urbanização, resultando num valor de 5,21 m³.

Já em relação ao menor valor encontrado, o mesmo pôde ser evidenciado no seguinte cenário: Zona Residencial 2 (ZR2), uso R2, área de captação de 120,00 m², tempo de retorno de 2 anos e vazão de saída igual a 75% da vazão de pós-urbanização, gerando um valor de 0,42 m³.

Tais resultados mostram que, a depender da escolha dos parâmetros de projeto, geram diferenças significativas nos volumes obtidos. Essa escolha dependerá do grau de incerteza presente no projeto, pois para projetos mais conservadores deve-se adotar um tempo de retorno maior e a vazão de saída do microrreservatório igual a vazão de pré-ocupação, caso contrário adota-se um tempo de retorno inferior e uma vazão de saída igual a uma fração da vazão de pós-urbanização.

Tais incertezas também estão relacionadas ao método de dimensionamento escolhido, pois as considerações de cálculo são simplificações da situação real, gerando resultados que

dependem apenas da variável área de ocupação, como discutido no tópico 5.1. Além disso, a cidade de João Pessoa ainda não conta com um Manual de Drenagem Urbana, sendo necessário consultar Manuais de outras cidades, como São Paulo e Porto Alegre, e adaptar para a realidade pessoense.

Além disso, também há a clara e direta influência da área de captação no resultado do volume do reservatório, pois o aumento dessa área irá resultar num aumento da vazão de pico e, conseqüentemente, irá aumentar o volume de reservação necessário. Isso justifica o fato de que a Zona Turística 3 (ZT3) apresenta o maior volume de microrreservatório, pois apesar do tamanho mínimo do lote ser igual ao da Zona Residencial 1 (ZR1), a taxa de ocupação máxima permitida na ZT3 é de 70%, enquanto que na ZR1 é de 50%, resultando numa área de ocupação maior para a primeira zona.

5.3. Diâmetro do descarregador de fundo

O descarregador de fundo do reservatório foi considerado circular, sua área da seção transversal foi calculada por meio da equação 4 e o diâmetro comercial correspondente foi encontrado a partir da Tabela 3. Dessa forma, os resultados obtidos estão apresentados no Apêndice.

O menor diâmetro para o descarregador de fundo encontrado foi o de 25 mm, que ocorreu nos cenários ZR2-R1 e ZR2-R2, para os tempos de retorno TR2, TR5 e TR10 e para a vazão de saída igual a de pré-urbanização, 50% de pós-urbanização e 75% de pós-urbanização. Por outro lado, o maior diâmetro encontrado foi o de 50 mm, presente nos cenários ZR1-R2, ZA5-R2 e ZT3-R2, para os tempos de retorno TR2, TR5 e TR10 e para a vazão de saída igual a de pré-urbanização, 50% de pós-urbanização e 75% de pós-urbanização.

Portanto, ao analisar os resultados apresentados em conjunto com a equação 4, é possível concluir que o diâmetro do orifício dependerá apenas da vazão de pré-urbanização, visto que os valores do coeficiente de descarga C_D , a aceleração da gravidade g e altura do reservatório h são fixos para todos os cenários estudados. Como a vazão de pré-urbanização depende da área de captação, os cenários que apresentam as maiores áreas resultaram nos maiores diâmetros.

5.4. Orçamento

Partindo do cálculo dos volumes dos reservatórios, das composições unitárias de serviço apresentadas na Tabela 7 e dos quantitativos obtidos por meio do dimensionamento, gerou-se

uma planilha orçamentária para cada cenário analisado. Logo, os resultados encontrados estão apresentados no Apêndice.

A análise dos resultados obtidos permitem concluir que há uma correlação entre o volume do reservatório e o custo do mesmo, uma vez que o cenário que apresentou o maior volume para o reservatório foi o mesmo cenário com o maior orçamento: ZT3, uso R2, área de captação de 472,50 m², tempo de retorno de 10 anos e vazão de saída igual a vazão de pré-urbanização. O mesmo ocorre para cenário de menor volume encontrado, que coincidiu com o cenário de menor orçamento: ZR2, uso R2, área de captação de 120,00 m², tempo de retorno de 2 anos e vazão de saída igual a vazão de 75% de pós-urbanização.

A estimativa de custo para a construção de uma unidade residencial foi realizada através do valor do CUB/m², disponibilizado pelo Sinduscon JP, que possui seus valores apresentados na Tabela 8. Dessa maneira, também foi possível determinar a fração de custo de implementação de um microrreservatório frente ao custo total para a edificação de uma residência, em termos percentuais. Logo, foi considerado apenas aqueles cenários com vazão de saída igual a vazão de pré-urbanização, e os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Custo do microrreservatório frente ao custo total de uma residência.

Zona	Classificação do uso do solo	Área de ocupação (m ²)	Estimativa de custo da residência (R\$)	Custo de implantação do MR (R\$)			Custo MR/Custo residência (%)		
				TR: 2 anos	TR: 5 anos	TR: 10 anos	TR: 2 anos	TR: 5 anos	TR: 10 anos
ZR1	R1	180,00	357838,20	1034,60	1091,58	1137,47	0,29	0,31	0,32
		270,00	536757,30	1371,93	1454,09	1520,33	0,26	0,27	0,28
	R2	225,00	447297,75	1204,94	1274,58	1330,70	0,27	0,28	0,30
		337,50	670946,63	1617,83	1718,58	1799,86	0,24	0,26	0,27
ZR2	R1	140,00	278318,60	1003,87	1058,58	1102,64	0,36	0,38	0,40
		210,00	417477,90	1327,68	1406,51	1470,06	0,32	0,34	0,35
	R2	120,00	238558,80	863,49	907,91	943,66	0,36	0,38	0,40
		180,00	357838,20	1125,93	1189,68	1241,04	0,31	0,33	0,35
ZA5	R1	150,00	298198,50	918,54	966,98	1005,97	0,31	0,32	0,34
		225,00	447297,75	1204,94	1274,58	1330,70	0,27	0,28	0,30
	R2	225,00	447297,75	1204,94	1274,58	1330,70	0,27	0,28	0,30
		337,50	670946,63	1617,83	1718,58	1799,86	0,24	0,26	0,27
ZT3	R1	252,00	500973,48	1516,77	1609,86	1684,93	0,30	0,32	0,34
		378,00	751460,22	2069,81	2205,10	2314,32	0,28	0,29	0,31
	R2	315,00	626216,85	1795,49	1909,77	2001,98	0,29	0,30	0,32
		472,50	939325,28	2475,28	2641,85	2776,37	0,26	0,28	0,30

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados demonstrados na Tabela 11 mostram que a implementação de um sistema de microrreservatório de retenção em lote representa uma parcela muito pequena do custo total de uma residência. O menor valor obtido (0,10%) foi para o cenário com as seguintes características: ZR1, uso R1, área de ocupação 270,00 m² e tempo de retorno de 2 anos, enquanto que o maior valor obtido (0,44%) ocorreu no cenário com as seguintes características: ZR2, uso R2, área de ocupação de 120,00 m² e tempo de retorno de 10 anos. Vale salientar que os resultados apresentados na Tabela 11 são para a condição mais conservadora de projeto, isto é, para a vazão de saída do reservatório igual a vazão de pré-urbanização, ou seja, para projetos menos conservadores como a vazão limitada a 50% ou 75% da vazão de pós-urbanização, essa parcela seria ainda menor.

5.5. Relação entre a área de ocupação e o volume do microrreservatório

Assim como mencionado anteriormente, a área de ocupação do lote e o volume do microrreservatório possuem uma forte correlação. Para demonstrar tal correspondência, gerou-se gráficos de dispersão por meio do *software Excel* e adotou-se a curva que melhor se ajustou aos pontos obtidos, ou seja, aquela que obteve o maior coeficiente de determinação (R^2). Os gráficos foram gerados variando o tempo de retorno em 2, 5 ou 10 anos e a vazão de saída do microrreservatório alternando entre os valores de pré-urbanização, 50% e 75% da vazão de pós-urbanização. Dessa forma, os gráficos obtidos estão apresentados no Apêndice.

Os gráficos apresentados demonstram a forte relação entre essas duas variáveis de projeto, tendo em vista que os valores de R^2 foram muito próximos de 1 e nos casos que se considera a vazão de saída como uma parcela da vazão de pós-urbanização o valor foi 1. Isso ocorre, pois ao dimensionar o reservatório pela metodologia de McCuen, as variáveis da equação 3 são apenas as vazões e o tempo de concentração. Portanto, ao se considerar a vazão de saída como sendo uma fração do valor da vazão de pico de pós-urbanização, os pontos se ajustam em uma reta, resultando num coeficiente R^2 igual a 1.

5.6. Relação entre a área de ocupação e o custo do microrreservatório

Foram gerados gráficos de dispersão por meio do *software Excel* para avaliar a correlação entre a área de ocupação e o custo do microrreservatório, que pôde ser observada a partir dos resultados apresentados no subcapítulo 5.4. Os parâmetros de projeto, como tempo de retorno

e vazão de saída do reservatório também variaram de acordo com o apresentado na seção anterior. Dessa maneira, os gráficos obtidos estão apresentados no Apêndice.

A análise dos gráficos apresentados possibilita concluir que há uma grande correlação entre as variáveis custo do microrreservatório e área de ocupação, pois os valores de R^2 foram bem próximos a 1. Porém, para os casos em que se considera 50% ou 75% da vazão de pós-urbanização como a vazão de saída, o coeficiente R^2 é diferente de 1. Isso ocorre, porque ao analisar a relação entre a área de ocupação e o custo do microrreservatório são introduzidas algumas variáveis a mais, que são justamente as composições unitárias de serviço, que servem como base para a construção do orçamento.

6. CONCLUSÃO

A partir da importância da temática das enchentes nas grandes cidades, do manejo sustentável da drenagem urbana e dos resultados apresentados no presente trabalho, ficou evidente a importância das medidas de controle. A implantação dos microrreservatórios de controle de escoamento deve ser analisada com atenção por parte dos governantes, assim como outras técnicas compensatórias: telhados verdes, pavimentos permeáveis e valas de infiltração, por exemplo.

Assim, faz-se necessário um poder público atuante nas questões que tangem a drenagem urbana na cidade João Pessoa, por meio de leis municipais que limitem a vazão de saída em cada lote. Por outro lado, também pode haver um incentivo para a população que optar por adotar um sistema de microrreservatórios em lote ou alguma outra medida de controle em escala residencial, através de descontos em impostos.

Dessa forma, o presente trabalho cumpriu o objetivo geral de apresentar o microrreservatório de controle de escoamento como uma alternativa viável para a diminuição das vazões de pico, visto que os resultados obtidos para a estimativa orçamentária foram satisfatórios. Em relação aos objetivos específicos, foi possível observar a atenuação das vazões de pico a partir da implementação desse sistema, também foi demonstrado a metodologia de dimensionamento dos reservatórios de detenção em lote e foi possível avaliar em quais situações a construção desse reservatório é mais vantajoso.

A análise dos resultados permite concluir que o custo para a concepção de um pequeno reservatório de controle de escoamento representa no máximo, para os cenários analisados,

0,44% do custo total para a construção de uma residência. Além disso, fica clara a correlação existente entre a área de ocupação do lote e o volume do reservatório, bem como a relação entre a área de ocupação do terreno e o custo do reservatório, tendo como base os gráficos de dispersão apresentados.

Por fim, recomenda-se que sejam realizados novos estudos dentro da área da drenagem urbana sustentável, a exemplo: aplicabilidade de outras técnicas compensatórias na cidade de João Pessoa e estudo comparativo entre as metodologias de dimensionamento de microrreservatórios, a fim de aferir qual método é o mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, R. de et al. Chuvas intensas no Estado da Paraíba. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, p. 74-85, 2000.

BAHIENSE, Juliana Martins. Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática. Rio de Janeiro, 2013.

CANHOLI, Aluísio. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de textos, 2015.

CARVALHO, Ginny Morais. Enchentes - O Brasil é 6º país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas. Rádio Câmara, Brasília, p. 1, 9 maio 2011. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/radio/programas/396885-enchentes-o-brasil-e-6o-pais-do-mundo-que-mais-sofre-com-catastrofes-climaticas/>. Acesso em: 1 set. 2022.

COSTA, Fagner França da et al. Abordagem distribuída para simulação chuva-vazão em pequenas bacias hidrográficas. 2017.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; AGRA, Sidnei Gusmão. Análise comparativa de métodos de dimensionamento de microrreservatórios de retenção frente a eventos reais de precipitação. Publicado nos anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, 2003.

DE OLIVEIRA VITAL, Saulo Roberto et al. Base cartográfica digital como instrumento para a identificação de áreas suscetíveis à erosão e movimentos de massa em João Pessoa (PB), Brasil. Revista Geográfica de América Central, v. 2, n. 57, p. 262-287, 2016.

DE PAULA DRUMOND, Pedro. Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica. 2012.

Enchentes – O Brasil é 6º país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas. Rádio Câmara, Brasília. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/radio/programas/396885-enchentes-o-brasil-e-6o-pais-do-mundo-que-mais-sofre-com-catastrofes-climaticas/>>. Acesso em: 22 de out. de 2022.

ENCONTRO TÉCNICO-CIENTÍFICO DOS LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA CIVIL DA CPLP, 10., 2019, Maputo. Drenagem de Infraestruturas de transporte [...]. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://le->

cplp.lnec.pt/apresentacoes/Tema%202_2%20Fontul%20S_Drenagem%20.pdf. Acesso em: 6 set. 2022.

FABER, Marcos. A importância dos rios para as primeiras civilizações. História ilustrada, v. 2, 2011.

HÜFFNER, Anelise Nardi. Otimização para controle de alagamentos urbanos: aplicação na bacia hidrográfica da vila Santa Isabel em Viamão, RS. 2013.

IPH. Plano Diretor de Drenagem Urbana. Manual de Drenagem Urbana. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. 2005.

LUNA, I. H. D. M. Eficiência volumétrica de reservatórios para aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais. Tese de Doutorado. Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 2022.

MAGALHÃES, LPC et al. Estudo da Aplicação de Um Reservatório de Lote com Múltiplos Usos. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba/PR, 2003.

MARINOSKI, Ana Kelly; GHISI, Enedir. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis–SC. Ambiente construído, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008.

MCCUEN, Richard H. et al. Hydrologic analysis and design. Upper Saddle River, NJ: Pearson prentice hall, 2005.

MIGUEZ, Marcelo Gomes et al. Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 366 p. ISBN 978-85-352-7746-3.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; DE MAGALHÃES, Luiz Paulo Canedo. Urban flood control, simulation and management—an integrated approach. Methods and techniques in urban engineering, v. 1, 2010.

NETO, Antonio Cardoso. Sistemas urbanos de drenagem. 2009.

NICHOLAS, D. I. Techniques for on site stormwater detention in Sydney, Australia: quantity and quality control mechanisms for frequency staged storage. In: Novatech 95 (Lyon, 30-31 mai 1995). 1995. p. 503-510.

PMJP. Código de Urbanismo. Secretaria de Planejamento, jul 2001. Disponível em: <<http://www.planmob.joaopessoa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2017/06/C%C3%B3digo-de-Urbanismo.pdf>> . Acesso em: novembro de 2022.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. Revista brasileira de recursos hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana. São Paulo: SMDU; 2012.

SCHUELER, T.R. Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments; 1987.

SIMONS, D.B. et al. Flood flows, stages and damages. Fort Collins: Colorado State University; 1977.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: < <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: outubro de 2022.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. vol. 2, n. 2 (jul./dez. 1997), p. 5-12, 1997.

TUCCI, Carlos EM. Gestão da drenagem urbana. 2012.

TUCCI, Carlos EM. Gestão de águas pluviais urbanas. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

APÊNDICE

Volumes, Diâmetros do Orifício, Dimensões e Orçamentos dos Reservatórios							
Cenário	A_T (m²)	V_s (m³)	A_o (m²)	Do (mm)	A_B (m²)	C = L (m)	Orçamento
ZR1 - R1 - TR2 - Pré	180,00	1,40	0,00069	30	1,40	1,18	R\$ 1.034,60
ZR1 - R1 - TR2 - 50%Pós	180,00	1,26	0,00069	30	1,26	1,12	R\$ 965,25
ZR1 - R1 - TR2 - 75%Pós	180,00	0,63	0,00069	30	0,63	0,79	R\$ 639,27
ZR1 - R1 - TR2 - Pré	270,00	2,11	0,00104	40	2,11	1,45	R\$ 1.371,93
ZR1 - R1 - TR2 - 50%Pós	270,00	1,89	0,00104	40	1,89	1,38	R\$ 1.272,09
ZR1 - R1 - TR2 - 75%Pós	270,00	0,95	0,00104	40	0,95	0,97	R\$ 805,76
ZR1 - R1 - TR5 - Pré	180,00	1,52	0,00075	32	1,52	1,23	R\$ 1.091,58
ZR1 - R1 - TR5 - 50%Pós	180,00	1,37	0,00075	32	1,37	1,17	R\$ 1.017,11
ZR1 - R1 - TR5 - 75%Pós	180,00	0,68	0,00075	32	0,68	0,83	R\$ 667,57
ZR1 - R1 - TR5 - Pré	270,00	2,28	0,00113	40	2,28	1,51	R\$ 1.454,09
ZR1 - R1 - TR5 - 50%Pós	270,00	2,05	0,00113	40	2,05	1,43	R\$ 1.346,74
ZR1 - R1 - TR5 - 75%Pós	270,00	1,03	0,00113	40	1,03	1,01	R\$ 845,99
ZR1 - R1 - TR10 - Pré	180,00	1,61	0,00080	32	1,61	1,27	R\$ 1.137,47
ZR1 - R1 - TR10 - 50%Pós	180,00	1,45	0,00080	32	1,45	1,21	R\$ 1.058,87
ZR1 - R1 - TR10 - 75%Pós	180,00	0,73	0,00080	32	0,73	0,85	R\$ 690,30
ZR1 - R1 - TR10 - Pré	270,00	2,42	0,00120	40	2,42	1,56	R\$ 1.520,33
ZR1 - R1 - TR10 - 50%Pós	270,00	2,18	0,00120	40	2,18	1,48	R\$ 1.406,92
ZR1 - R1 - TR10 - 75%Pós	270,00	1,09	0,00120	40	1,09	1,04	R\$ 878,34
ZR1 - R2 - TR2 - Pré	225,00	1,75	0,00087	40	1,75	1,32	R\$ 1.204,94
ZR1 - R2 - TR2 - 50%Pós	225,00	1,58	0,00087	40	1,58	1,26	R\$ 1.120,25

Cenário	A _T (m²)	V _s (m³)	A _o (m²)	Do (mm)	A _B (m²)	C = L (m)	Orçamento
ZR1 - R2 - TR2 - 75%Pós	225,00	0,79	0,00087	40	0,79	0,89	R\$ 723,64
ZR1 - R2 - TR2 - Pré	337,50	2,63	0,00130	50	2,63	1,62	R\$ 1.617,83
ZR1 - R2 - TR2 - 50%Pós	337,50	2,37	0,00130	50	2,37	1,54	R\$ 1.495,48
ZR1 - R2 - TR2 - 75%Pós	337,50	1,18	0,00130	50	1,18	1,09	R\$ 925,86
ZR1 - R2 - TR5 - Pré	225,00	1,90	0,00094	40	1,90	1,38	R\$ 1.274,58
ZR1 - R2 - TR5 - 50%Pós	225,00	1,71	0,00094	40	1,71	1,31	R\$ 1.183,58
ZR1 - R2 - TR5 - 75%Pós	225,00	0,85	0,00094	40	0,85	0,92	R\$ 757,95
ZR1 - R2 - TR5 - Pré	337,50	2,85	0,00141	50	2,85	1,69	R\$ 1.718,58
ZR1 - R2 - TR5 - 50%Pós	337,50	2,56	0,00141	50	2,56	1,60	R\$ 1.586,96
ZR1 - R2 - TR5 - 75%Pós	337,50	1,28	0,00141	50	1,28	1,13	R\$ 974,84
ZR1 - R2 - TR10 - Pré	225,00	2,02	0,00100	40	2,02	1,42	R\$ 1.330,70
ZR1 - R2 - TR10 - 50%Pós	225,00	1,82	0,00100	40	1,82	1,35	R\$ 1.234,60
ZR1 - R2 - TR10 - 75%Pós	225,00	0,91	0,00100	40	0,91	0,95	R\$ 785,53
ZR1 - R2 - TR10 - Pré	337,50	3,03	0,00149	50	3,03	1,74	R\$ 1.799,86
ZR1 - R2 - TR10 - 50%Pós	337,50	2,72	0,00149	50	2,72	1,65	R\$ 1.660,73
ZR1 - R2 - TR10 - 75%Pós	337,50	1,36	0,00149	50	1,36	1,17	R\$ 1.014,26
ZR2 - R1 - TR2 - Pré	140,00	1,34	0,00038	25	1,34	1,16	R\$ 1.003,87
ZR2 - R1 - TR2 - 50%Pós	140,00	0,98	0,00038	25	0,98	0,99	R\$ 823,76
ZR2 - R1 - TR2 - 75%Pós	140,00	0,49	0,00038	25	0,49	0,70	R\$ 561,67
ZR2 - R1 - TR2 - Pré	210,00	2,01	0,00058	30	2,01	1,42	R\$ 1.327,68
ZR2 - R1 - TR2 - 50%Pós	210,00	1,47	0,00058	30	1,47	1,21	R\$ 1.068,99
ZR2 - R1 - TR2 - 75%Pós	210,00	0,74	0,00058	30	0,74	0,86	R\$ 695,80
ZR2 - R1 - TR5 - Pré	140,00	1,45	0,00042	25	1,45	1,21	R\$ 1.058,58
ZR2 - R1 - TR5 - 50%Pós	140,00	1,06	0,00042	25	1,06	1,03	R\$ 865,29
ZR2 - R1 - TR5 - 75%Pós	140,00	0,53	0,00042	25	0,53	0,73	R\$ 584,52

Cenário	A _T (m²)	V _s (m³)	A _o (m²)	Do (mm)	A _B (m²)	C = L (m)	Orçamento
ZR2 - R1 - TR5 - Pré	210,00	2,18	0,00063	30	2,18	1,48	R\$ 1.406,51
ZR2 - R1 - TR5 - 50%Pós	210,00	1,60	0,00063	30	1,60	1,26	R\$ 1.128,51
ZR2 - R1 - TR5 - 75%Pós	210,00	0,80	0,00063	30	0,80	0,89	R\$ 728,12
ZR2 - R1 - TR10 - Pré	140,00	1,54	0,00044	25	1,54	1,24	R\$ 1.102,64
ZR2 - R1 - TR10 - 50%Pós	140,00	1,13	0,00044	25	1,13	1,06	R\$ 898,71
ZR2 - R1 - TR10 - 75%Pós	140,00	0,57	0,00044	25	0,57	0,75	R\$ 602,86
ZR2 - R1 - TR10 - Pré	210,00	2,31	0,00066	30	2,31	1,52	R\$ 1.470,06
ZR2 - R1 - TR10 - 50%Pós	210,00	1,70	0,00066	30	1,70	1,30	R\$ 1.176,46
ZR2 - R1 - TR10 - 75%Pós	210,00	0,85	0,00066	30	0,85	0,92	R\$ 754,09
ZR2 - R2 - TR2 - Pré	120,00	1,06	0,00038	25	1,06	1,03	R\$ 863,49
ZR2 - R2 - TR2 - 50%Pós	120,00	0,84	0,00038	25	0,84	0,92	R\$ 751,23
ZR2 - R2 - TR2 - 75%Pós	120,00	0,42	0,00038	25	0,42	0,65	R\$ 521,60
ZR2 - R2 - TR2 - Pré	180,00	1,59	0,00058	30	1,59	1,26	R\$ 1.125,93
ZR2 - R2 - TR2 - 50%Pós	180,00	1,26	0,00058	30	1,26	1,12	R\$ 965,25
ZR2 - R2 - TR2 - 75%Pós	180,00	0,63	0,00058	30	0,63	0,79	R\$ 639,27
ZR2 - R2 - TR5 - Pré	120,00	1,15	0,00042	25	1,15	1,07	R\$ 907,91
ZR2 - R2 - TR5 - 50%Pós	120,00	0,91	0,00042	25	0,91	0,95	R\$ 787,52
ZR2 - R2 - TR5 - 75%Pós	120,00	0,46	0,00042	25	0,46	0,68	R\$ 541,67
ZR2 - R2 - TR5 - Pré	180,00	1,72	0,00063	30	1,72	1,31	R\$ 1.189,68
ZR2 - R2 - TR5 - 50%Pós	180,00	1,37	0,00063	30	1,37	1,17	R\$ 1.017,11
ZR2 - R2 - TR5 - 75%Pós	180,00	0,68	0,00063	30	0,68	0,83	R\$ 667,57
ZR2 - R2 - TR10 - Pré	120,00	1,22	0,00044	25	1,22	1,10	R\$ 943,66
ZR2 - R2 - TR10 - 50%Pós	120,00	0,97	0,00044	25	0,97	0,98	R\$ 816,70
ZR2 - R2 - TR10 - 75%Pós	120,00	0,48	0,00044	25	0,48	0,70	R\$ 557,77
ZR2 - R2 - TR10 - Pré	180,00	1,83	0,00066	30	1,83	1,35	R\$ 1.241,04

Cenário	A _T (m²)	V _s (m³)	A _o (m²)	Do (mm)	A _B (m²)	C = L (m)	Orçamento
ZR2 - R2 - TR10 - 50%Pós	180,00	1,45	0,00066	30	1,45	1,21	R\$ 1.058,87
ZR2 - R2 - TR10 - 75%Pós	180,00	0,73	0,00066	30	0,73	0,85	R\$ 690,30
ZA5 - R1 - TR2 - Pré	150,00	1,17	0,00058	30	1,17	1,08	R\$ 918,54
ZA5 - R1 - TR2 - 50%Pós	150,00	1,05	0,00058	30	1,05	1,03	R\$ 859,54
ZA5 - R1 - TR2 - 75%Pós	150,00	0,53	0,00058	30	0,53	0,73	R\$ 581,35
ZA5 - R1 - TR2 - Pré	225,00	1,75	0,00087	40	1,75	1,32	R\$ 1.204,94
ZA5 - R1 - TR2 - 50%Pós	225,00	1,58	0,00087	40	1,58	1,26	R\$ 1.120,25
ZA5 - R1 - TR2 - 75%Pós	225,00	0,79	0,00087	40	0,79	0,89	R\$ 723,64
ZA5 - R1 - TR5 - Pré	150,00	1,27	0,00063	30	1,27	1,13	R\$ 966,98
ZA5 - R1 - TR5 - 50%Pós	150,00	1,14	0,00063	30	1,14	1,07	R\$ 903,67
ZA5 - R1 - TR5 - 75%Pós	150,00	0,57	0,00063	30	0,57	0,75	R\$ 605,58
ZA5 - R1 - TR5 - Pré	225,00	1,90	0,00094	40	1,90	1,38	R\$ 1.274,58
ZA5 - R1 - TR5 - 50%Pós	225,00	1,71	0,00094	40	1,71	1,31	R\$ 1.183,58
ZA5 - R1 - TR5 - 75%Pós	225,00	0,85	0,00094	40	0,85	0,92	R\$ 757,95
ZA5 - R1 - TR10 - Pré	150,00	1,35	0,00066	30	1,35	1,16	R\$ 1.005,97
ZA5 - R1 - TR10 - 50%Pós	150,00	1,21	0,00066	30	1,21	1,10	R\$ 939,18
ZA5 - R1 - TR10 - 75%Pós	150,00	0,61	0,00066	30	0,61	0,78	R\$ 625,02
ZA5 - R1 - TR10 - Pré	225,00	2,02	0,00100	40	2,02	1,42	R\$ 1.330,70
ZA5 - R1 - TR10 - 50%Pós	225,00	1,82	0,00100	40	1,82	1,35	R\$ 1.234,60
ZA5 - R1 - TR10 - 75%Pós	225,00	0,91	0,00100	40	0,91	0,95	R\$ 785,53
ZA5 - R2 - TR2 - Pré	225,00	1,75	0,00087	40	1,75	1,32	R\$ 1.204,94
ZA5 - R2 - TR2 - 50%Pós	225,00	1,58	0,00087	40	1,58	1,26	R\$ 1.120,25
ZA5 - R2 - TR2 - 75%Pós	225,00	0,79	0,00087	40	0,79	0,89	R\$ 723,64
ZA5 - R2 - TR2 - Pré	337,50	2,63	0,00130	50	2,63	1,62	R\$ 1.617,83
ZA5 - R2 - TR2 - 50%Pós	337,50	2,37	0,00130	50	2,37	1,54	R\$ 1.495,48

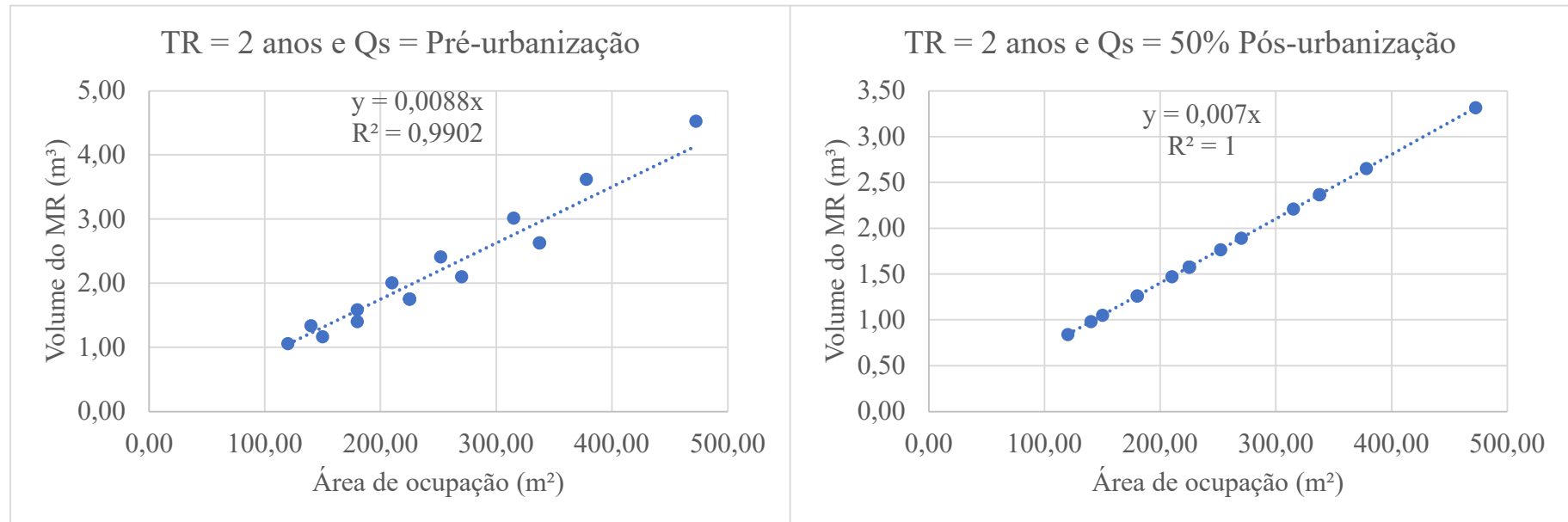
Cenário	A _T (m²)	V _s (m³)	A _o (m²)	Do (mm)	A _B (m²)	C = L (m)	Orçamento
ZA5 - R2 - TR2 - 75%Pós	337,50	1,18	0,00130	50	1,18	1,09	R\$ 925,86
ZA5 - R2 - TR5 - Pré	225,00	1,90	0,00094	40	1,90	1,38	R\$ 1.274,58
ZA5 - R2 - TR5 - 50%Pós	225,00	1,71	0,00094	40	1,71	1,31	R\$ 1.183,58
ZA5 - R2 - TR5 - 75%Pós	225,00	0,85	0,00094	40	0,85	0,92	R\$ 757,95
ZA5 - R2 - TR5 - Pré	337,50	2,85	0,00141	50	2,85	1,69	R\$ 1.718,58
ZA5 - R2 - TR5 - 50%Pós	337,50	2,56	0,00141	50	2,56	1,60	R\$ 1.586,96
ZA5 - R2 - TR5 - 75%Pós	337,50	1,28	0,00141	50	1,28	1,13	R\$ 974,84
ZA5 - R2 - TR10 - Pré	225,00	2,02	0,00100	40	2,02	1,42	R\$ 1.330,70
ZA5 - R2 - TR10 - 50%Pós	225,00	1,82	0,00100	40	1,82	1,35	R\$ 1.234,60
ZA5 - R2 - TR10 - 75%Pós	225,00	0,91	0,00100	40	0,91	0,95	R\$ 785,53
ZA5 - R2 - TR10 - Pré	337,50	3,03	0,00149	50	3,03	1,74	R\$ 1.799,86
ZA5 - R2 - TR10 - 50%Pós	337,50	2,72	0,00149	50	2,72	1,65	R\$ 1.660,73
ZA5 - R2 - TR10 - 75%Pós	337,50	1,36	0,00149	50	1,36	1,17	R\$ 1.014,26
ZT3 - R1 - TR2 - Pré	252,00	2,41	0,00069	30	2,41	1,55	R\$ 1.516,77
ZT3 - R1 - TR2 - 50%Pós	252,00	1,77	0,00069	30	1,77	1,33	R\$ 1.211,68
ZT3 - R1 - TR2 - 75%Pós	252,00	0,88	0,00069	30	0,88	0,94	R\$ 773,14
ZT3 - R1 - TR2 - Pré	378,00	3,62	0,00104	40	3,62	1,90	R\$ 2.069,81
ZT3 - R1 - TR2 - 50%Pós	378,00	2,65	0,00104	40	2,65	1,63	R\$ 1.627,57
ZT3 - R1 - TR2 - 75%Pós	378,00	1,33	0,00104	40	1,33	1,15	R\$ 996,55
ZT3 - R1 - TR5 - Pré	252,00	2,61	0,00075	32	2,61	1,62	R\$ 1.609,86
ZT3 - R1 - TR5 - 50%Pós	252,00	1,92	0,00075	32	1,92	1,38	R\$ 1.281,82
ZT3 - R1 - TR5 - 75%Pós	252,00	0,96	0,00075	32	0,96	0,98	R\$ 811,01
ZT3 - R1 - TR5 - Pré	378,00	3,92	0,00113	40	3,92	1,98	R\$ 2.205,10
ZT3 - R1 - TR5 - 50%Pós	378,00	2,87	0,00113	40	2,87	1,69	R\$ 1.729,07
ZT3 - R1 - TR5 - 75%Pós	378,00	1,44	0,00113	40	1,44	1,20	R\$ 1.050,73

Cenário	A _T (m²)	V _s (m³)	A _o (m²)	Do (mm)	A _B (m²)	C = L (m)	Orçamento
ZT3 - R1 - TR10 - Pré	252,00	2,78	0,00080	32	2,78	1,67	R\$ 1.684,93
ZT3 - R1 - TR10 - 50%Pós	252,00	2,03	0,00080	32	2,03	1,43	R\$ 1.338,34
ZT3 - R1 - TR10 - 75%Pós	252,00	1,02	0,00080	32	1,02	1,01	R\$ 841,46
ZT3 - R1 - TR10 - Pré	378,00	4,17	0,00120	40	4,17	2,04	R\$ 2.314,32
ZT3 - R1 - TR10 - 50%Pós	378,00	3,05	0,00120	40	3,05	1,75	R\$ 1.810,94
ZT3 - R1 - TR10 - 75%Pós	378,00	1,53	0,00120	40	1,53	1,24	R\$ 1.094,35
ZT3 - R2 - TR2 - Pré	315,00	3,02	0,00087	40	3,02	1,74	R\$ 1.795,49
ZT3 - R2 - TR2 - 50%Pós	315,00	2,21	0,00087	40	2,21	1,49	R\$ 1.421,51
ZT3 - R2 - TR2 - 75%Pós	315,00	1,11	0,00087	40	1,11	1,05	R\$ 886,18
ZT3 - R2 - TR2 - Pré	472,50	4,53	0,00130	50	4,53	2,13	R\$ 2.475,28
ZT3 - R2 - TR2 - 50%Pós	472,50	3,32	0,00130	50	3,32	1,82	R\$ 1.931,53
ZT3 - R2 - TR2 - 75%Pós	472,50	1,66	0,00130	50	1,66	1,29	R\$ 1.158,47
ZT3 - R2 - TR5 - Pré	315,00	3,27	0,00094	40	3,27	1,81	R\$ 1.909,77
ZT3 - R2 - TR5 - 50%Pós	315,00	2,39	0,00094	40	2,39	1,55	R\$ 1.507,40
ZT3 - R2 - TR5 - 75%Pós	315,00	1,20	0,00094	40	1,20	1,09	R\$ 932,25
ZT3 - R2 - TR5 - Pré	472,50	4,90	0,00141	50	4,90	2,21	R\$ 2.641,85
ZT3 - R2 - TR5 - 50%Pós	472,50	3,59	0,00141	50	3,59	1,89	R\$ 2.056,21
ZT3 - R2 - TR5 - 75%Pós	472,50	1,80	0,00141	50	1,80	1,34	R\$ 1.224,65
ZT3 - R2 - TR10 - Pré	315,00	3,47	0,00100	40	3,47	1,86	R\$ 2.001,98
ZT3 - R2 - TR10 - 50%Pós	315,00	2,54	0,00100	40	2,54	1,59	R\$ 1.576,66
ZT3 - R2 - TR10 - 75%Pós	315,00	1,27	0,00100	40	1,27	1,13	R\$ 969,33
ZT3 - R2 - TR10 - Pré	472,50	5,21	0,00149	50	5,21	2,28	R\$ 2.776,37
ZT3 - R2 - TR10 - 50%Pós	472,50	3,81	0,00149	50	3,81	1,95	R\$ 2.156,84
ZT3 - R2 - TR10 - 75%Pós	472,50	1,91	0,00149	50	1,91	1,38	R\$ 1.277,96

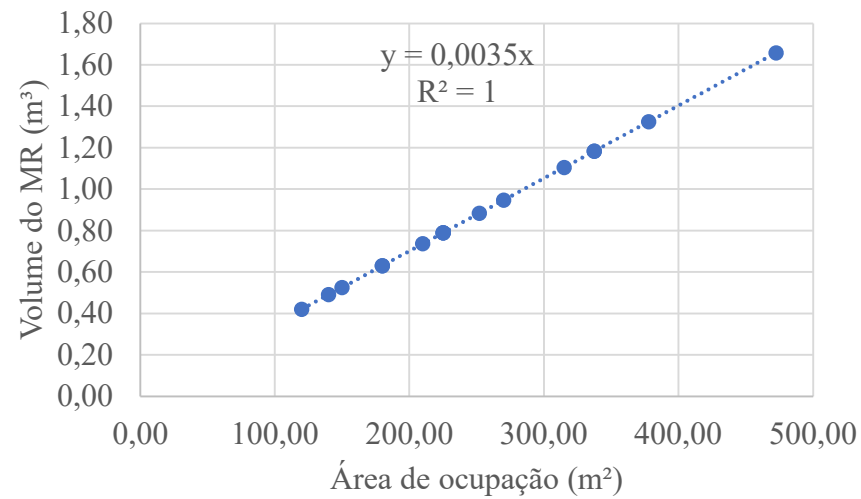
Onde:

- A_T : área de captação, em m^2 ;
- V_s : volume do reservatório, em m^3 ;
- A_o : área da seção transversal do orifício, em m^2 ;
- D_o : diâmetro do orifício, em mm;
- A_B : área da base do reservatório, em m^2 ;
- C : comprimento do reservatório, em m;
- L : largura do reservatório, em m.

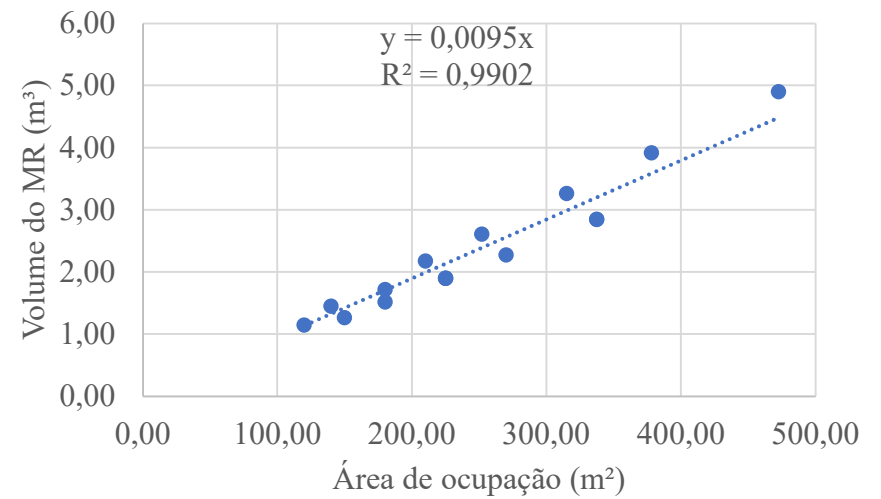
Gráficos de correlação entre a área de ocupação (m^2) e o volume do reservatório (m^3)



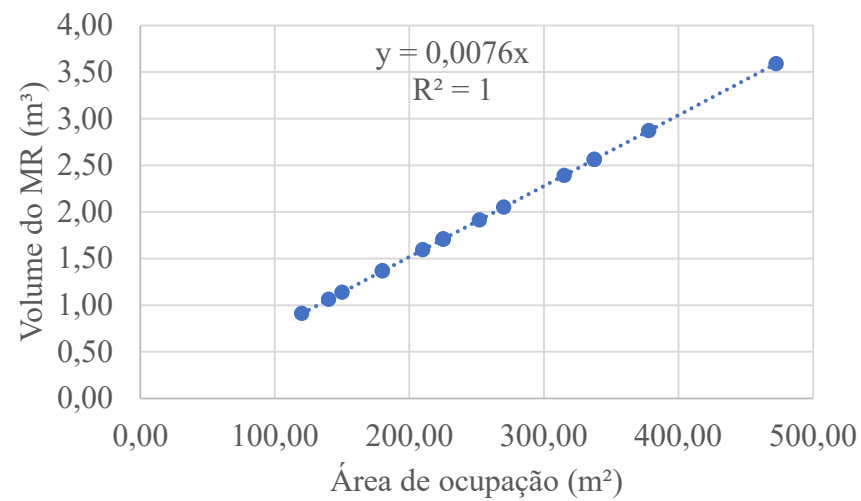
TR = 2 anos e Qs = 75% Pós-urbanização



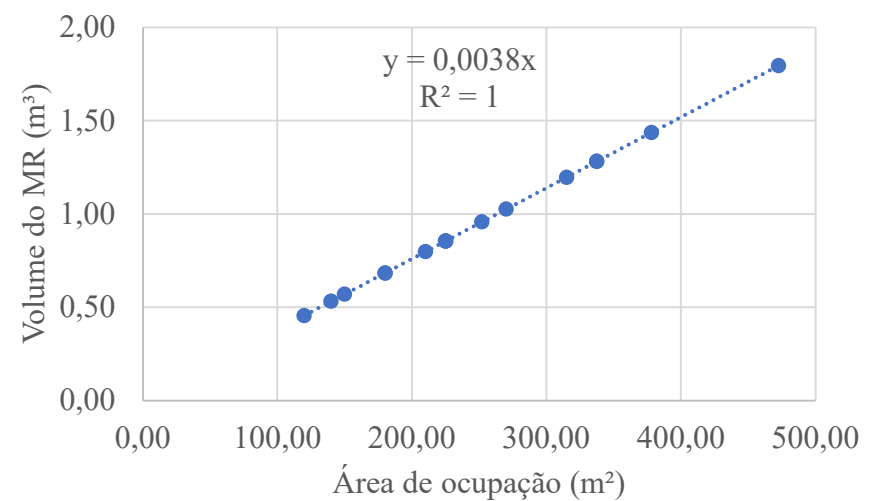
TR = 5 anos e Qs = Pré-urbanização



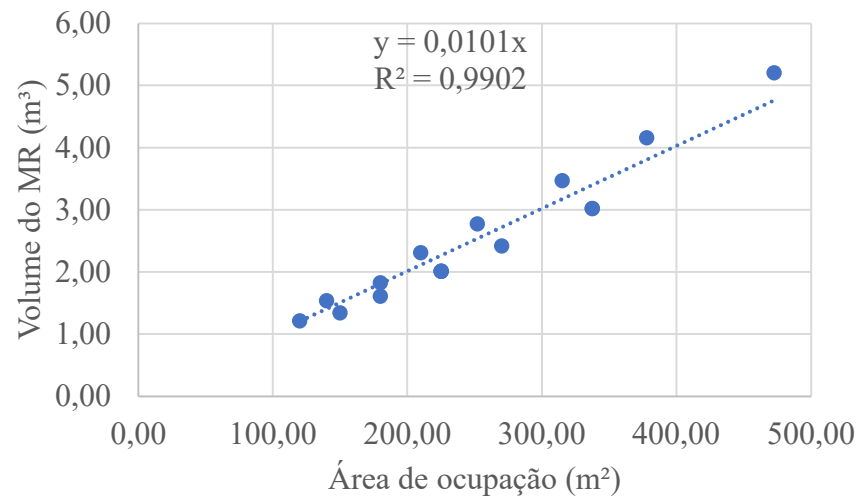
TR = 5 anos e Qs = 50% Pós-urbanização



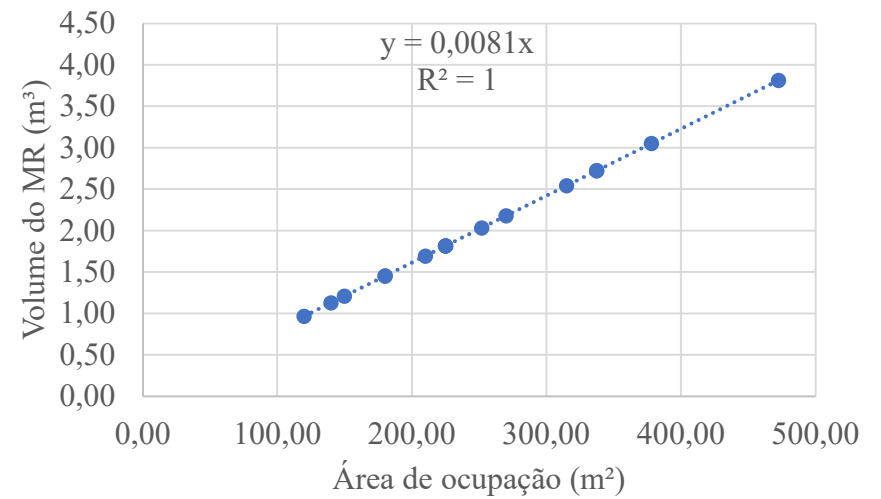
TR = 5 anos e Qs = 75% Pós-urbanização



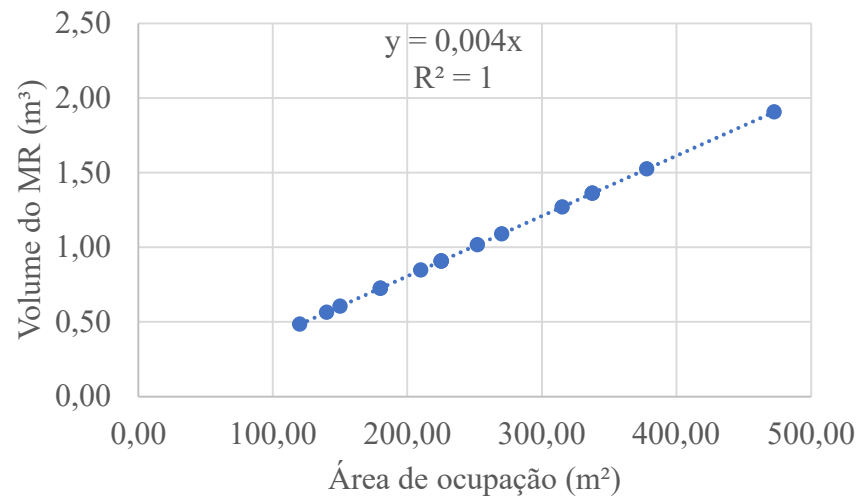
TR = 10 anos e Qs = Pré-urbanização



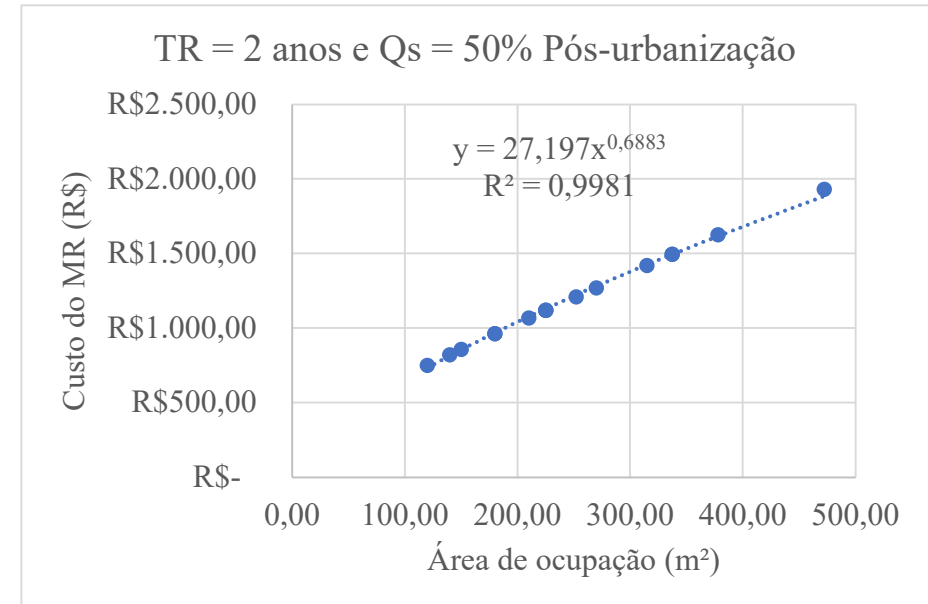
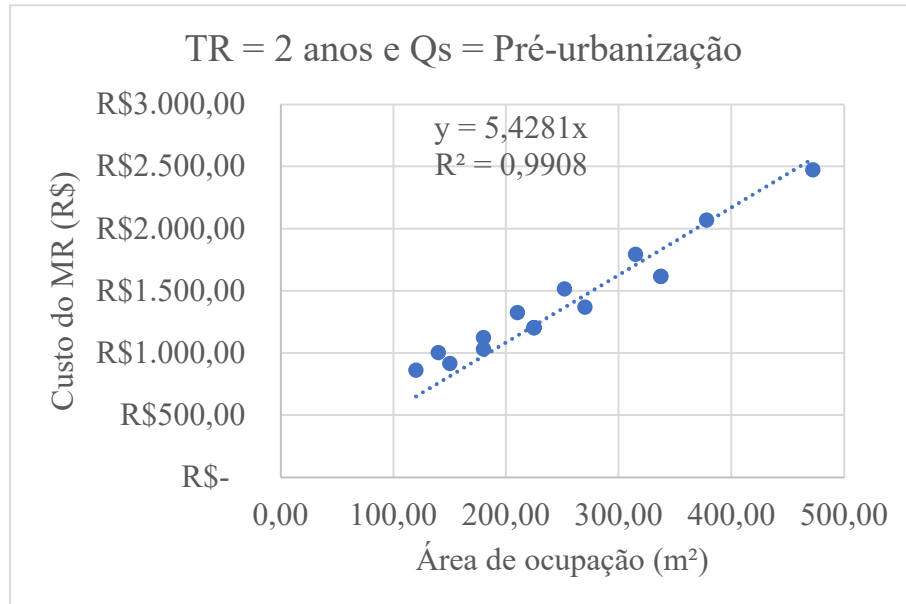
TR = 10 anos e Qs = 50% Pós-urbanização



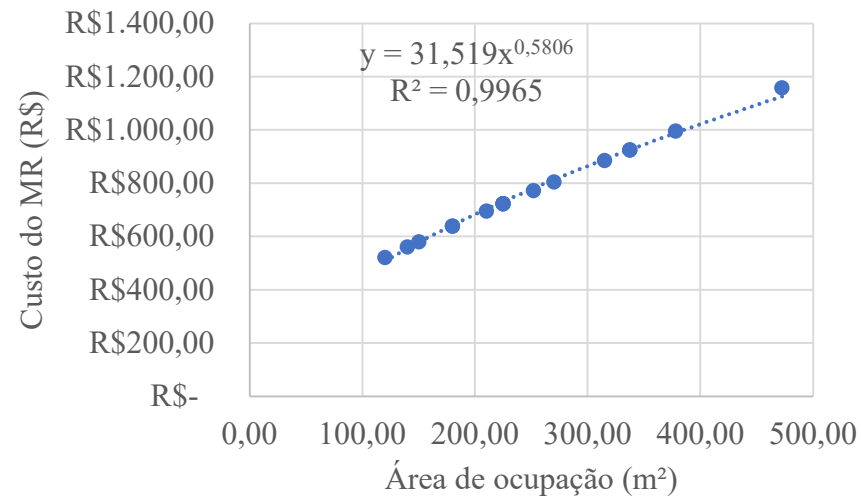
TR = 10 anos e Qs = 75% Pós-urbanização



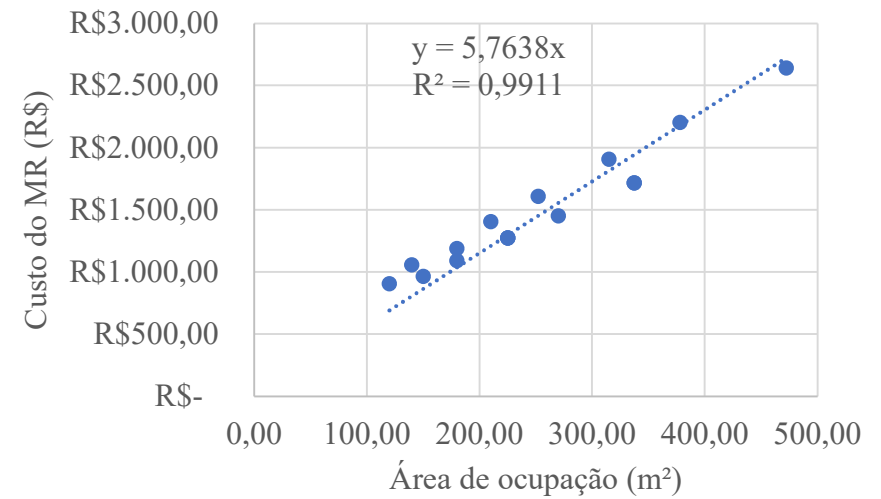
Gráficos de correlação entre a área de ocupação (m²) e custo do reservatório (R\$)



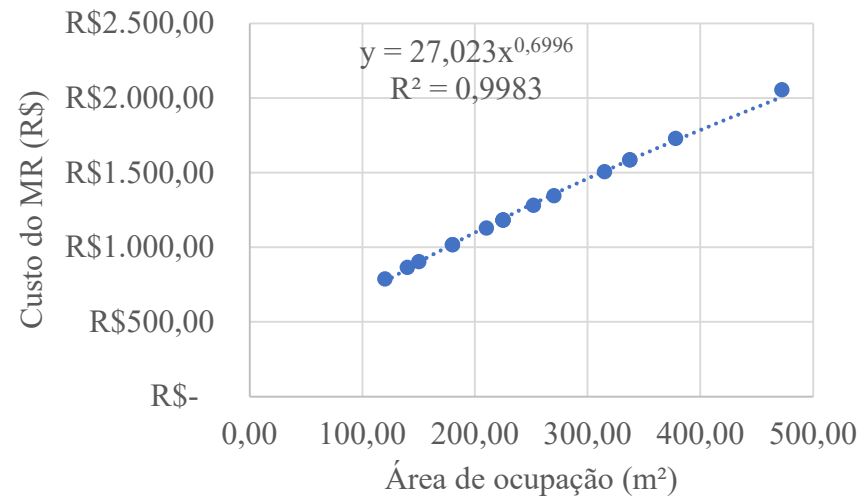
TR = 2 anos e Qs = 75% Pós-urbanização



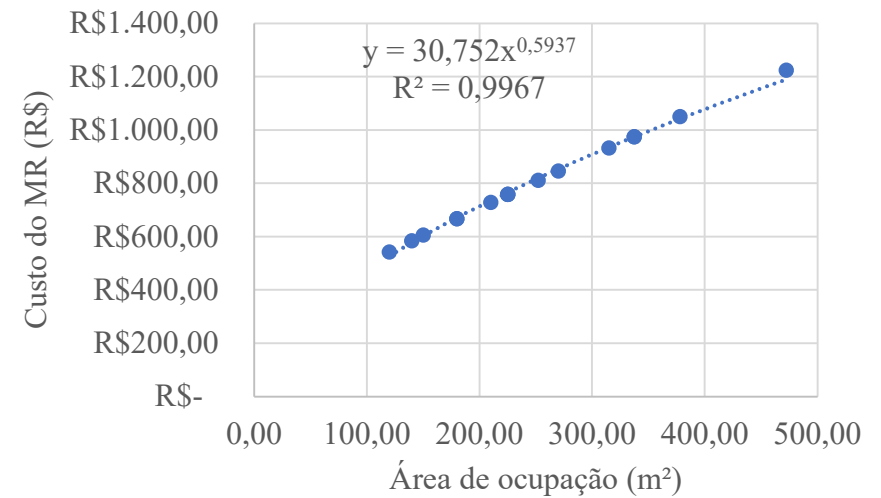
TR = 5 anos e Qs = Pré-urbanização



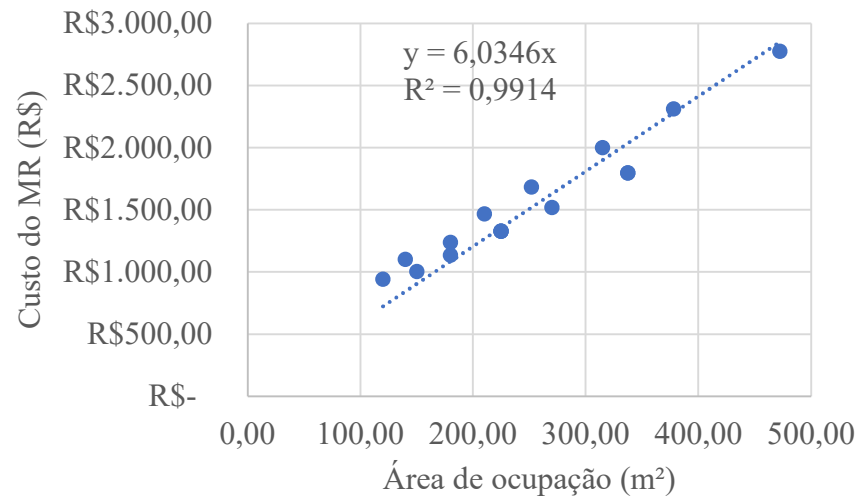
TR = 5 anos e Qs = 50% Pós-urbanização



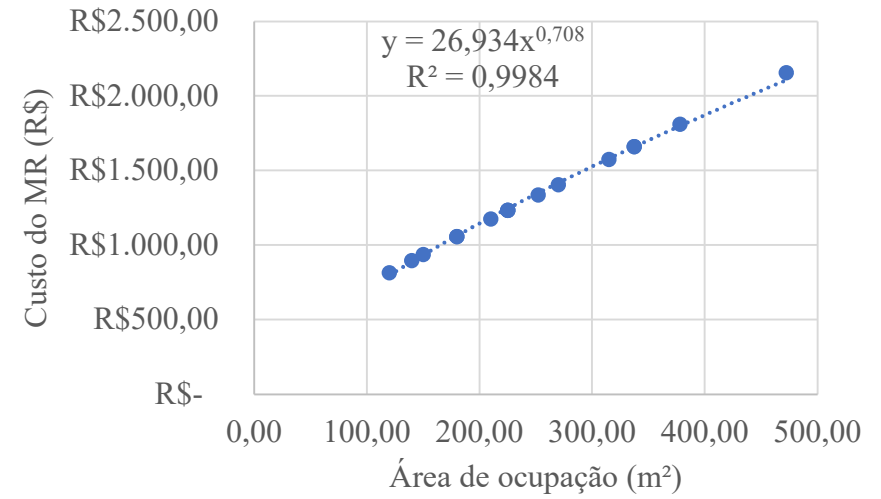
TR = 5 anos e Qs = 75% Pós-urbanização



TR = 10 anos e Qs = Pré-urbanização



TR = 10 anos e Qs = 50% Pós-urbanização



TR = 10 anos e Qs = 75% Pós-urbanização

