

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO

Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani, Ph.D.

Professora Associada do Curso de Engenharia Civil

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, Ph.D.

Professor do Curso de Engenharia Civil

Bolsista de IC: Fabrício Eduardo Silva de Lima

Aluno de Graduação em Engenharia Civil

Período de vigência da bolsa: 01/08/2019 a 31/07/2020

Processo N°: BIC-0606- 3.01/19

Local do experimento: Avenida Domingos Ferreira, Boa Viagem

PROJETO DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

**Avaliação do processo de implantação de valas de infiltração para a
melhora da drenagem urbana: Estudo de caso em trecho da Avenida
Domingos Ferreira em Recife**

1. INTRODUÇÃO

Indicadores apontam um movimento de urbanização no Brasil durante as últimas décadas, segundo o IBGE (2019) a população urbana brasileira passou de 55,92% para 84,36% entre as décadas de 1970 e 2010. Esse crescimento populacional acelerado acarretou, em sua maioria, transtornos nas grandes cidades, pois não havia infraestrutura suficiente para tal aumento de demanda, fazendo com que a expansão das cidades ocorresse sem ordenamento e planejamento suficiente, prejudicando a qualidade de vida e bem-estar dos habitantes das cidades (MESQUITA, 2017).

Dentre esses transtornos, um dos principais, foi o prejuízo em relação ao ambiente natural pré-existente, pois não houve uma interação harmônica entre ele e o avanço dos sistemas de infraestrutura. Um desses refere-se ao uso e ocupação do solo, a urbanização por si só é capaz de gerar impermeabilização do solo natural. As bacias urbanas tem um índice de escoamento superficial - C (volume total escoado pela superfície/volume precipitado) consideravelmente maior que bacias sem urbanização, pois nelas reduziu-se a infiltração (entrada de água no solo) e a existência de áreas com vegetação arbórea (que absorve parte das águas pluviais) gerando um aumento nos picos das vazões máximas (EMLURB, 2017; MOURA, 2014).

Até 2005, o modelo principal a ser seguido na drenagem urbana do Recife, foi o higienista (eficiência hidráulica), no qual através de canalizações objetiva-se o escoamento para riachos e rios o mais rápido possível. Em terras baixas costeiras, como na cidade do Recife, a situação se agrava devido à combinação entre precipitações e suscetibilidades das marés, dependendo do volume de chuvas as galerias podem ficar afogadas, significando que seu nível fique abaixo da altura de água já existente nos meios de escoamento, gerando assim um impedimento na fluidez da vazão gerando alagamentos locais prolongados (MESQUITA, 2017; SILVA JUNIOR et al., 2017).

Recife tem atualmente 160 pontos de alagamento cadastrados na EMLURB (2017), para tentar diminuir esse número, entre 2016 e 2018, segundo o portal de transparência da prefeitura, foram gastos aproximadamente 150 milhões de reais na manutenção e retificação dos sistemas de micro drenagem (coleta e condução da água pluvial até o sistema de macrodrenagem incluindo as vias, as sarjetas, o meio-fio, as bocas de lobo, os tubos e conexões, os poços de visita e os condutos) e macrodrenagem (controle dos principais rios e canais urbanos) do Recife. O sistema de drenagem é diretamente ligado ao viário, o que faz com que um mau funcionamento de um, afete diretamente o outro sistema.

Os alagamentos provocam dificuldade de locomoção dos carros e pedestres, com risco de acidentes, além das perdas financeiras resultantes de atrasos, faltas no trabalho e gastos com combustível nos engarrafamentos e consertos de veículos danificados pelos acidentes gerados (FREEDMAN, 1995). Os transtornos causados em Recife, cuja carência na rede de esgotamento sanitário provoca a presença de esgoto indevido e resíduos sólidos nas galerias pluviais, aumentam ainda mais os prejuízos causados pela presença de água excessiva (alagamento) nas ruas e avenidas. Esses fatores, em dia de alagamentos, culminam em focos transmissores

de doenças, ou, quando levadas diretamente para os cursos hídricos, podem alterar gravemente a qualidade e a finalidade dessa água, podendo comprometer ainda os habitats aquáticos (MESQUITA, 2017).

Analisando o Bairro recifense de Boa Viagem em relação à permeabilidade do solo, considerando os anos de 1975 e 2007, verificou-se que as áreas impermeáveis, subiram de 37,17% para 73,13%. Nesses 32 anos, toda a rede de drenagem foi ampliada, porém, não foi suficiente para evitar pontos de alagamento no bairro. Tal fato aponta para a necessidade cada vez maior de investimento na melhoria da drenagem (MOURA, 2014).

Assim, é inegável a necessidade de buscar novas alternativas ao modelo atual de drenagem urbana. É urgente encontrar dispositivos que controlem os picos de chuva, reduzam inundações à jusante e consiga aliar tudo isso à diminuição dos custos nas melhorias do manejo das águas pluviais. A fim de buscar tais respostas, o presente trabalho analisará a viabilidade técnica da utilização de valas de infiltração – interligadas as galerias pluviais – a serem instaladas sob as calçadas com o objetivo de reduzir o pico de vazão máxima e melhorar a taxa de infiltração no solo (MESQUITA, 2017; SOUZA, 2017; MELO et al., 2016).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a viabilidade técnica do uso de valas de infiltração, para a melhoria da gestão da drenagem urbana, visando o aumento da capacidade de absorção pluviométrica e, conseqüentemente, a diminuição dos transtornos em relação aos alagamentos em épocas de chuvas acima da média e aumentar a capacidade de resiliência dos lençóis freáticos, através da infiltração de água no solo.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos estabelecidos para atingir o objetivo geral incluem:

- Identificar as variáveis para análise das valas de infiltração propostas para o trecho da Avenida de estudo;
- Identificar pontos para a realização de testes *in loco* de absorção de água pelo solo;
- Avaliar e calcular a partir dos valores médios da infiltração, a capacidade de retenção hídrica das valas de infiltração propostas;
- Estudar e comparar os índices históricos pluviométricos da região com a capacidade de infiltração do solo apresentado e determinar a aplicabilidade das valas para redução dos alagamentos;
- Elaborar artigo científico, para publicação em revistas e periódicos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Técnicas compensatórias

Como especificado anteriormente, a urbanização modifica a bacia ocupada, diminuindo a permeabilidade da água no solo e aumentando o pico do escoamento superficial, elevando a vazão sobre as redes de drenagem, é essa saturação da capacidade de escoamento desse sistema a causa dos alagamentos urbanos. Visando a diminuição do pico de vazão, as técnicas compensatórias constituem de medidas, nas bacias hidrográficas urbanas, que tem por objetivo o controle da vazão na fonte de geração, aumentando o volume da pluvial retido ou infiltrado, recuperando ou minimizando os efeitos decorrentes da urbanização (HIRATA, 2015).

Segundo Tucci (2008), o conceito de técnica compensatória pode ser colocado como presente na quarta fase histórica das águas urbanas, aquela que visa o desenvolvimento sustentável, tendo o início do seu desenvolvimento a partir dos anos de 1990. Essas técnicas, tem por objetivo descentralizar a drenagem urbana, a partir da sua ampla distribuição no espaço urbano (controle de vazão na fonte de geração), sua implementação traz outras vantagens como a recarga dos lençóis freáticos (reestabelecimento do fluxo base) e a diminuição dos poluentes presentes no escoamento superficial (MIGUÉZ et al., 2014; RAMOS et al., 1999).

Entres essas técnicas são divididas em duas categorias: estruturais e não estruturais, sendo a primeira mais ligada à construção de estruturas e a outra às ações de planejamento e recuperação do solo, além de ações educacionais. Dentro das técnicas compensatórias estruturais destacam-se: jardins de chuva, poços de infiltração, trincheiras de infiltração, valas de infiltração, alagados construídos (Wetlands), bacias de retenção ou retenção, pavimento drenante ou permeável, telhados verdes e jardins de chuva (ver figura 1) (BAPTISTA, 2005).

Figura 1 – Exemplo de jardim de chuva em Portland, Estados Unidos



Fonte: Secretaria de Serviços Ambientais de Portland (2013)

A partir de estudos realizados, algumas técnicas compensatórias, tiveram resultado positivo quanto à diminuição do pico de vazão, segundo Silva Júnior (2017), em estudo realizado na cidade do Recife, utilizando tanque de retenção, foi possível diminuir em até 38% do volume de escoamento superficial em chuvas de recorrência de 5 anos.

3.2 Valas de infiltração

As valas de infiltração são consideradas como técnicas compensatórias, representam pequenas depressões realizadas sobre o solo, tendo como objetivo captar a água de uma certa área de contribuição e armazená-la até que ocorra a infiltração. O volume de água entra diretamente na estrutura, vindo da área de contribuição, que vão desde edifícios localizados próximos até toda a área impermeabilizada em volta, favorecendo além da infiltração da água no solo, o armazenamento da água pluvial, até que seu transporte para as canalizações seja possível, devido a redução do pico de escoamento superficial (BAPTISTA, 2005; BUTLER; DAVIES, 2011).

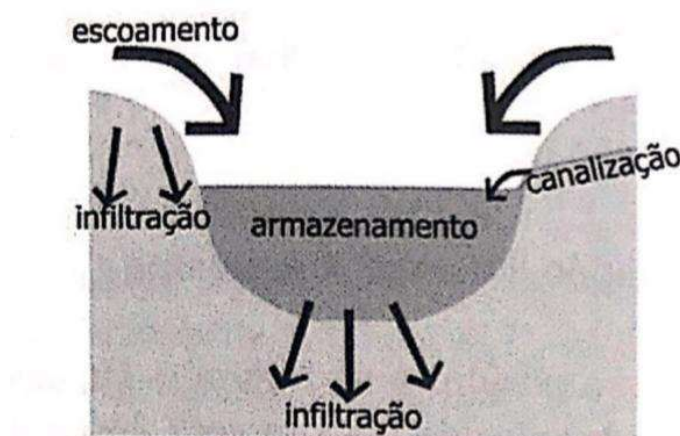
Essa técnica consiste em canais usados para transporte, armazenamento, infiltração e tratamento de águas pluviais. Para o bom funcionamento das valas, estas requerem que sejam implementadas em áreas com declives rasos (menores que 5%). Esse sistema contribui para a diminuição dos picos de vazão nas cheias e proporciona uma redução no volume de escoamento superficial devido à infiltração, além de exercer uma função de pré-tratamento das águas pluviais, quando os poluentes são removidos por sedimentação, filtração e adsorção no revestimento vegetal e infiltração no solo. Segundo Ellis (1992), as valas de infiltração podem apresentar uma eficiência de remoção entre 60 e 70% de sólidos em suspensão, e 30 a 40% de metais e derivados do petróleo (BUTLER; DAVIES, 2011f).

A utilização dessa técnica compensatória, traz resultados satisfatórios com relação ao armazenamento temporário das águas da chuva e posterior evapotranspiração e infiltração (ver figura 2), contribuindo com a redução das vazões afluentes e do volume de escoamento superficial. Algumas outras vantagens dessa técnica são: baixo custo de construção e manutenção, e benefícios ambientais, como a recarga do lençol freático.

Porém, a instalação das valas de infiltração, apresenta restrições, como: a necessidade de área específica para a sua realização, a imprescindibilidade de manutenção periódica, eficiência baixa em áreas com maiores declividades, além da possibilidade de estagnação das águas. Em relação às restrições da implantação de valas de infiltração em locais com forte declividade, estão as perdas do potencial de deposição de sedimentos, pois com maiores declividades a água tem maior velocidade e as estruturas têm maior suscetibilidade à erosão.

Além desses fatores, há também o risco de contaminação do lençol freático. Assim, recomenda-se a existência de uma distância vertical em zona não saturada de pelo menos um metro e meio de profundidade entre a base da vala de infiltração e o lençol freático.

Figura 2 – Esquema de funcionamento de vala de infiltração



Fonte: Baptista (2005)

3.3 Modelo de valas de infiltração

O sistema proposto por Mesquita (2017), consiste em criar um sistema de valas de infiltração de águas pluviais se baseando no atual modelo do Manual Técnico N°01 CPRH 001 para esgoto sanitário, que foi derivado das normas NBR 7229/93 (ABNT, 1993) e NBR 13969/97 (ABNT, 1997). Para aumentar a contribuição devem ser plantadas árvores de médio porte, aumentando a evaporação, contribuindo também com a diminuição do pico máximo do escoamento superficial, além de melhorar o conforto térmico-paisagístico.

Segundo Mesquita (2017), algumas diretrizes a serem observadas para a construção de um sistema compensatório como esse são:

As valas de infiltração auxiliam o sistema de galerias públicas e não possuem o objetivo de substituí-las; Árvores de médio e grande porte já existentes receberão prioridade sobre a implantação das valas de infiltração; Caso seja possível instalar valas de infiltração junto a árvores existentes, utilizar uma barreira de concreto; As distâncias mínimas entre as valas e elementos próximos, deverão ser respeitadas (CPRH, 2004); O sistema poderá receber as águas pluviais oriundas de caixas de retardo das edificações particulares adjacentes; Para o perfeito funcionamento do sistema é necessária a manutenção periódica, através da limpeza regular das caixas de passagem para retirada das partículas retidas; Para o cálculo da vazão de projeto deverá ser utilizada a nova Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Chuva – IDF utilizado no Manual de Drenagem Urbana do Recife, disponibilizado pela EMLURB.

A figura 3 apresenta o esquema da vala de infiltração proposta por Mesquita (2017) para a área em estudo.

Segundo Mesquita (2017), as raízes das árvores poderão danificar as valas de infiltração. Para isso ser evitado, placas de concreto devem ser colocadas para limitar o crescimento horizontal das raízes (a Figura 6 ilustra como ficariam as placas quando houvesse locais com árvores a

serem plantadas). Poderá ser utilizado o RCD-R (resíduo de construção e demolição reciclado) em substituição à brita.

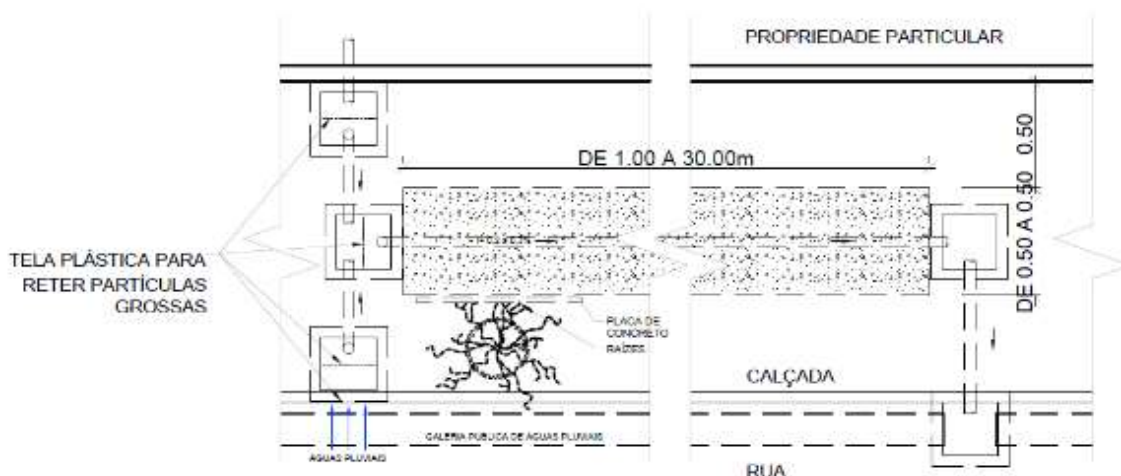
Figura 3 – Esquema da proposta para vala de infiltração.



Fonte: Mesquita (2017)

A água entrará na primeira caixa de passagem, na qual uma tela plástica reterá as partículas grossas, depois passará por um “T” na tubulação de saída para reduzir a entrada de partículas finas. A caixa de passagem de entrada da vala de infiltração possuirá um sistema de retenção de partículas para reduzir o risco entupimento do sistema (ver figura 4) (MESQUITA, 2017).

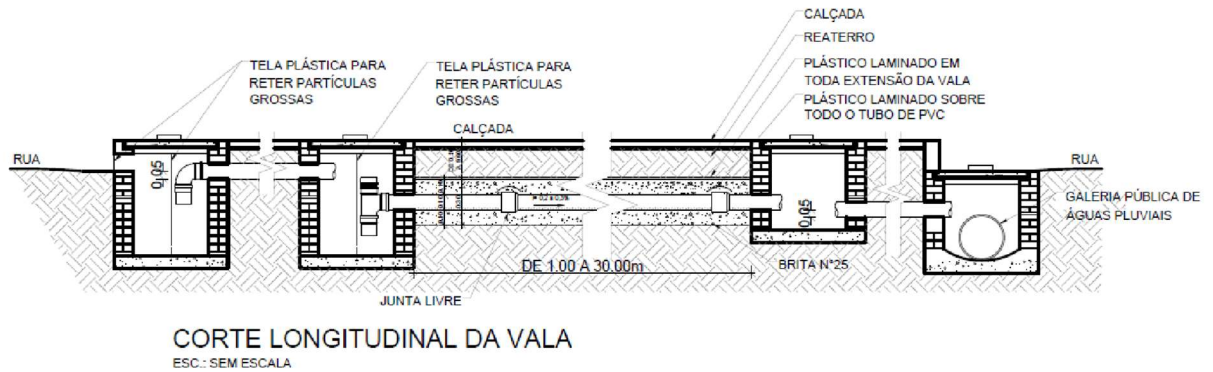
Figura 4 – Planta baixa da vala de infiltração adaptada para a calçada.



Fonte: Mesquita (2017)

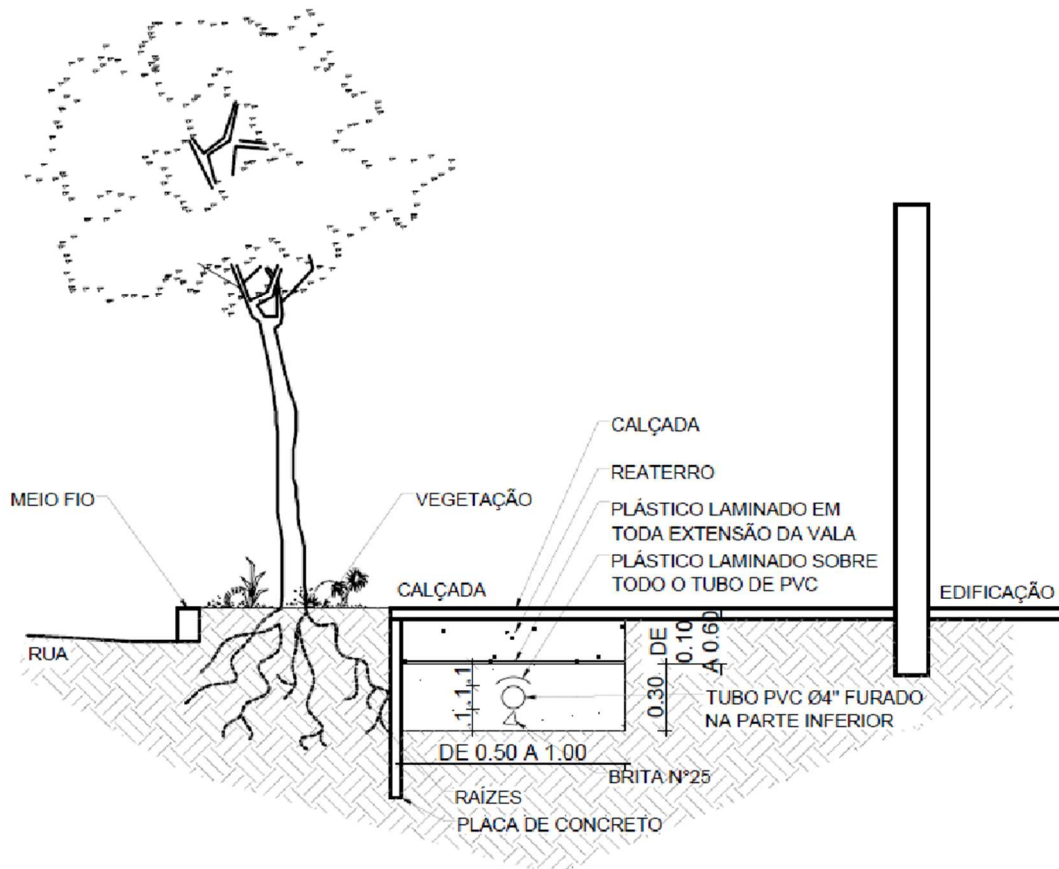
O sistema possui uma capacidade máxima de absorção, quando saturado, o que não for absorvido seguirá para a caixa de saída de vala de infiltração, que está interligada a rede de galerias de águas pluviais, que receberá esse volume excedente (ver ilustração das Figura 5) (MESQUITA,2017).

Figura 5 – Corte longitudinal da vala de infiltração adaptada para a calçada



Fonte: Mesquita (2017)

Figura 6 – Corte transversal da vala de infiltração adaptada para a calçada



Fonte: Mesquita (2017)

3.4 Modelo da análise da viabilidade das valas de infiltração

A partir de uma investigação bibliográfica, definimos o modelo citado por Baptista (2005), como o responsável por guiar a análise da viabilidade da proposta de Mesquita (2017). Diante disso foi organizado um esquema simplificando os principais passos a serem seguidos para a comprovação de viabilidade do sistema proposto e adaptando as diferenças entre o sistema de trincheiras e as de valas de infiltração.

Tabela 1 – Esquema dos testes de viabilidade

FATORES	IMPORTÂNCIA	COMPROVAÇÃO/ TESTES
Solo superficialmente permeável	Condutividade hidráulica $< 10^{-7}$ m s ⁻¹ , as valas não serão o único meio de evacuação	A partir dos testes de infiltração, determina-se o coeficiente de condutividade hidráulica do solo saturado
Solo suporte propício à infiltração	Composição geológica não apresentaria nenhuma contra indicação que poderia danificar a obra no futuro	A partir dos testes de composição granulométrica do solo
Nível máximo do lençol não deverá se situar a menos de 1m do fundo da vala	Necessária para não haver redução da capacidade das valas, caso a água venha a ocupar a estrutura	A partir de testes com um trado manual, que indicará o nível d'água
Histórico do local em relação a fontes poluidoras	Solo pode contaminar a água das valas e consequentemente os lençóis freáticos	Investigação com viés histórico da região

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em Baptista (2005)

3.5 Proposta de requalificação urbana na Avenida Domingos Ferreira

Apesar do foco central da pesquisa ser direcionado à avaliação do processo de implantação de valas de infiltração para a melhora da drenagem urbana, esse estudo foi desenvolvido dentro da proposta de requalificação urbana na Av Domingos Ferreira, elaborada por Mesquita (2017).

Figura 7 - Irregularidades na calçada na Avenida Domingos Ferreira



Fonte: Mesquita (2017)

Dentre os pontos citados, destacam-se: A troca da fiação elétrica que é aérea, onde as árvores e a rede elétrica disputam o espaço da paisagem urbana, comprometendo o espaço e a apresentação estética, para a fiação subterrânea (embutida), reformas no sistema viário para dar maior fluidez ao trânsito, melhoria de infraestrutura de acessibilidade nas calçadas, que apresentam irregularidades, buracos e espaço reduzido (ver figura 7) na região comprometendo a população em geral, principalmente idosos e portadores de necessidades especiais, além de reformas com viés paisagístico (ver figura 8).

Figura 8 – Proposta de reformas quanto à acessibilidade e paisagismo



Fonte: Mesquita (2017)

Portanto, a proposta de drenagem urbana estudada por esse texto está diretamente ligada a outras propostas de melhoria dos serviços públicos, na Avenida estudada.

3.6 Localizações das valas de infiltração

A escolha da localização da área de estudo proposto por Mesquita (2017) foi feita a partir da análise de estudos da EMLURB (2017), em relação aos trechos mais comprometidos quanto à drenagem urbana na Avenida Domingos Ferreira (ver figuras 9 e 10), levando em conta também as ruas perpendiculares à avenida que sofrem com esses problemas em relação às águas pluviais. Diante dessa análise foi proposto a intervenção nesses trechos (ver figura 11).

O trecho piloto foi definido entre as ruas Padre Bernardino Pessoa e Antônio Falcão, sua escolha deveu-se também ao fato de os logradouros próximos sofrerem com alagamentos, sendo as valas na avenida principal uma possível solução, para a diminuição desses transtornos.

Figura 9 – Ponto de alagamento próximo à Avenida Antônio Falcão



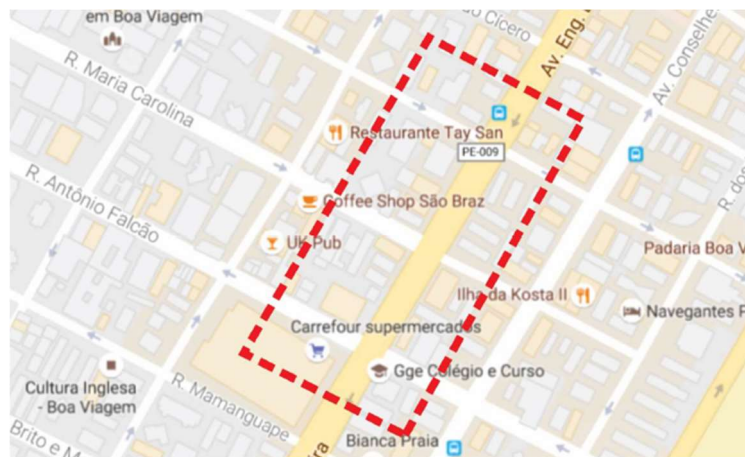
Fonte: Mesquita (2017)

Figura 10 - Pontos de alagamento no bairro de Boa Viagem



Fonte: Mesquita (2017)

Figura 11 – Trecho de estudo na Avenida Domingos Ferreira



Fonte: Extraída do Google Maps (2020)

A proposta de posicionamento das valas, foi feita utilizando o software Autocad 3D 2016, no qual foi levantado a uni-base da cidade Recife, e tiveram a seguinte distribuição (ver figura 12):

Figura 12: Posicionamento das valas



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Mesquita (2017)

3.7 Testes de infiltração

A infiltração pluviométrica no solo é definida como a percolação dela no solo através de sua superfície, no sentido vertical descendente, esse fenômeno é influenciado diretamente pelas condições da superfície do solo e seus atributos químicos, físicos e biológicos (TUCCI, 2008; SOUZA, 2007).

Figura 13: Infiltrômetro de anel simples



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Para a medição da intensidade de infiltração, utilizou-se o método do infiltrômetro de anel simples (conforme figura 13), que consiste em um anel de 22 cm de diâmetro, no qual coloca-se volume determinado de água (120 ml). O processo é repetido diversas vezes, até que a intensidade diminua com o passar do tempo, apresentando tendência de estabilização a partir do momento que o solo entra no estado de saturação (BERNARDO, 2006; DA SILVA et al., 2017; SOUZA, 2005).

3.8 Lei de Darcy – fluxo em solos saturados

A partir dos testes com o infiltrômetro, com o valor final da intensidade de infiltração do solo saturado, pode ser calculada a condutividade hidráulica do solo em estudo, um dos pontos da análise da viabilidade de Baptista (2005), utilizando a lei de Darcy, na qual considera que a condutividade hidráulica saturada e o gradiente de potencial total são diretamente proporcionais à vazão de infiltração no solo. (PRIM, 2004).

Segundo Ferraz (2015):

O movimento da água ou o fluxo da água subterrânea ocorre da maior carga hidráulica para a menor, desta forma o seu sentido é o do gradiente negativo.

K - Coeficiente de permeabilidade do solo

A - Área do infiltrômetro

Q - Vazão de infiltração

Há - Altura da coluna d'água

Hs - Distância na qual percorrerá o solo

$$K = - \left(Q \times \frac{HS}{HA \times A} \right) \text{ (isolando o K)}$$

Como, no caso do infiltrômetro, a altura da lâmina d'água é igual a distância que a água vai percorrer pelo solo, ou seja, apresenta o mesmo valor, o coeficiente de permeabilidade do solo pode ser calculado por:

$$K = - \frac{Q}{A} \tag{1}$$

Em condições de solo saturado, a condutividade hidráulica é definida como constante, pois representa uma característica do tipo do solo e do fluido. A Lei de Darcy acaba, portanto, sendo utilizada corretamente nessas condições (COUTINHO, 2011).

3.9 Resultado do uso de valas de infiltração em outros locais

As valas de infiltração são técnicas compensatórias que apresentam muita versatilidade, visto que, além de atuar na evacuação das águas, estas também podem ser utilizadas ao longo do sistema viário, jardins, terrenos e em áreas verdes em geral. A sua utilização como técnica compensatória vem sendo feita desde os anos 1970, em diversos países (BAPTISTA, 2005).

Bourgogne (2010) traz como exemplo a implantação de técnicas compensatórias como essa, na Comunidade Urbana de Bordeaux, França, que por mais de 25 anos, desenvolveu soluções compensatórias e técnicas alternativas para a drenagem de águas pluviais nas operações de planejamento urbano implementadas em seu território, política que ativou mais de 10.000 instalações.

Historicamente, Bordeaux sofreu inundações significativas durante dias chuvosos, porém, nos anos 1980 foi desencadeada uma mobilização excepcional de todos os municípios próximos. Em 1982, duas tempestades consecutivas muito intensas, levou a Comunidade Urbana de Bordeaux a implementar um programa de prioridade para lutar contra as inundações, tendo dois princípios orientadores: a implementação de instalações estruturais adaptados à urbanização existente e a implementação de técnicas compensatórias ou alternativas, para permitir o desenvolvimento da urbanização em áreas naturais, sem agravar o escoamento (BOURGOGNE, 2010).

O primeiro princípio, as instalações estruturais, impulsionou a Comunidade Urbana de Bordeaux para ter uma herança excepcional, como bacias de retenção, estações de bombeamento e coletores de água da chuva. Posteriormente, em 1985, experimentos com misturas porosas trouxeram uma nova geração de soluções compensatórias, e o revestimento poroso possibilitou inúmeras aplicações em valas e, também, em trincheiras de infiltração. Após muitos anos de

operação, as soluções compensatórias têm cumprido sua missão, evitando as inundações a jusante (BOURGOGNE, 2010).

4. METODOLOGIA

Primeiramente foi feita uma revisão da bibliografia referente à legislação, histórico e drenagem de águas pluviais que definiram os parâmetros básicos e legais deste projeto, além do estudo das orientações do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais na Cidade do Recife no ano de 2017. (EMLURB, 2017)

Em seguida, foi realizado o levantamento físico e fotográfico do local escolhido para estudo, num trecho de 250 metros na Avenida Eng. Domingos Ferreira, que servirá de base para a proposta. Para a realização da pesquisa, conta-se com a avaliação do modelo proposto por Mesquita (2017) para manejo das águas pluviais, através do uso de valas de infiltração e prévia análise de sua viabilidade.

Para a análise da viabilidade, as etapas foram conduzidas de acordo com a Baptista (2005), no qual há uma seção dedicada a análise do método escolhido, com as etapas para a validação do método em estudo. De acordo com tal estudo, o projeto atém-se em dois pontos centrais: a capacidade de infiltração do solo e seu consequente coeficiente de permeabilidade e o nível d'água do local estudado, tendo em vista a instalação futura das valas de infiltração.

Para a coleta de dados, adotou-se a realização de testes *in loco* em três pontos escolhidos por meio de recursos do Google Earth (2020), através do método do infiltrômetro de anel simples, onde este é cravado no solo e nele colocado 120 ml de água, conforme citado por Bernardo et al. (2006) e Souza (2005). A partir da estabilização do tempo de infiltração, é medido o índice de permeabilidade do solo saturado, medida que serve para a avaliação da capacidade de absorção das valas utilizando a lei de Darcy. As investigações de fontes poluidoras foram realizadas através de pesquisas de campo e avaliação de fotos históricas da área estudada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Uso e ocupação do solo

A partir dessa análise foi feito um levantamento histórico através de cartas pertencentes à Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (Condepe - Fidem), quanto ao avanço da urbanização sobre o trecho escolhido. Sendo feito um georreferenciamento para comparar a área impermeabilizada pelas construções do trecho estudado nos anos de 1975, 1986 e 2015 (ver Figura 14).

Figura 14: Comparação entre parte do bairro de Boa Viagem, 1975 (A), 1986 (B) e 2015 (C)



(A)



(B)

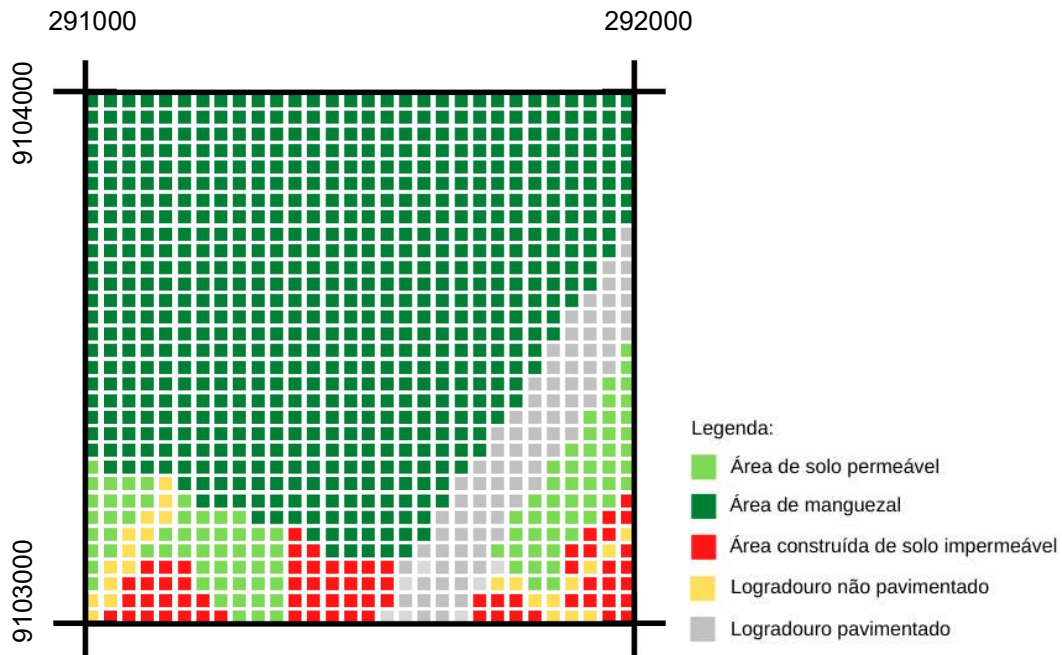


(C)

Fonte: Condepe Fidem (2019) e PE3D (2020)

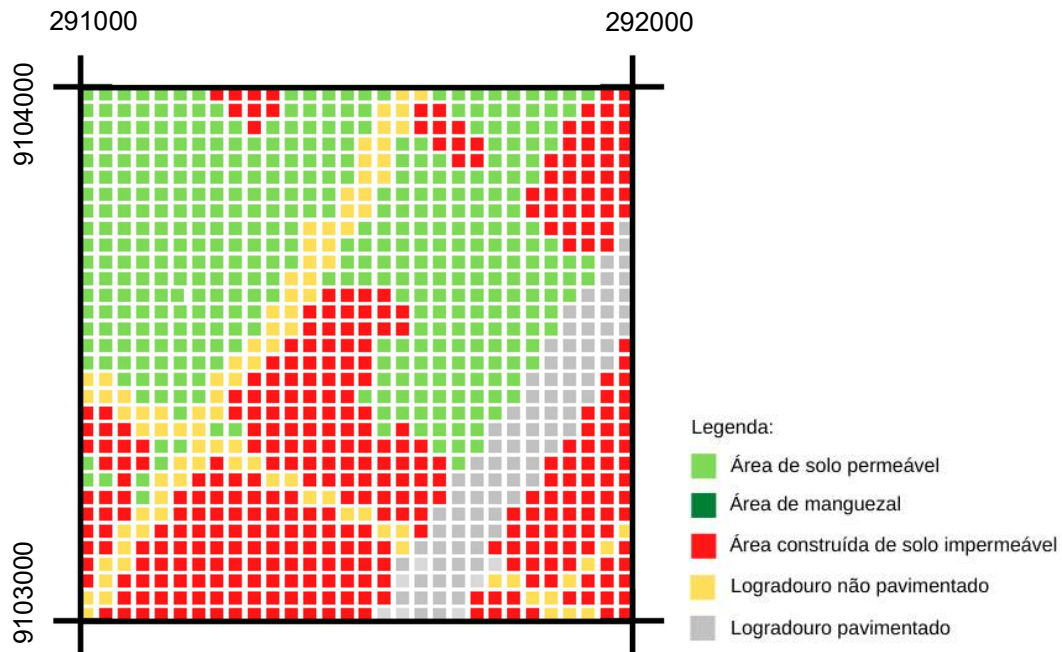
A partir disso criou-se um cartograma para uma análise da evolução histórica da urbanização sobre o trecho do bairro (ver figuras 15, 16 e 17). Cinco critérios de área foram definidos para esse estudo do uso e ocupação do solo: área alagada, solos permeáveis (aterros e naturais), áreas construídas impermeáveis, logradouros pavimentados e os não pavimentados, a fim de verificar o destino final de uso e ocupação do solo na área estudada.

Figura 15: Vetorização de uso e ocupação do solo em parte do bairro de Boa Viagem em 1975



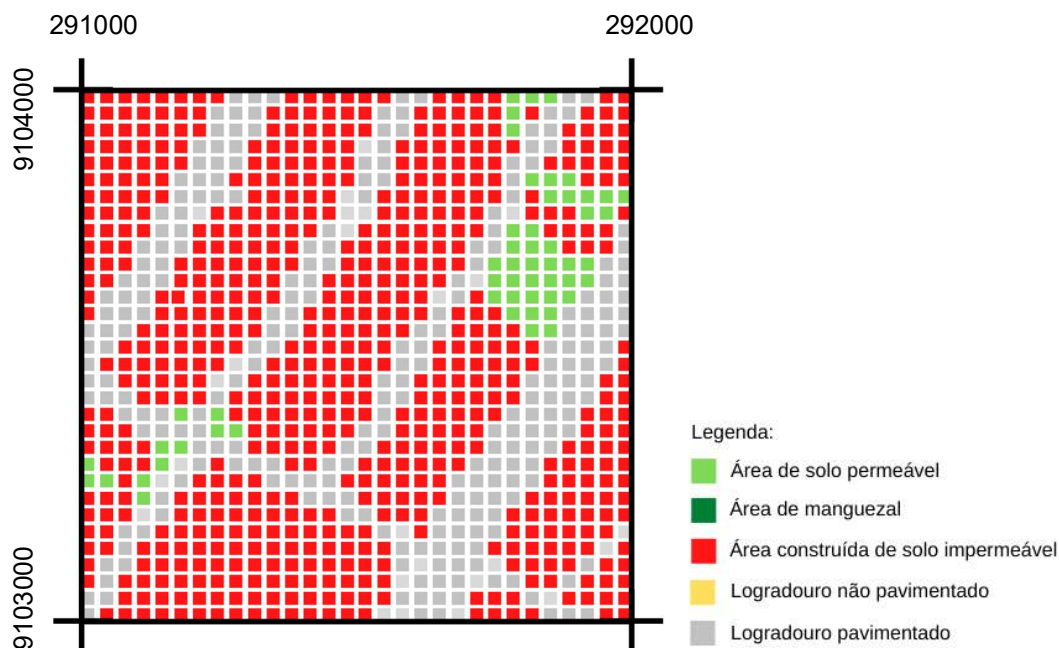
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 16: Vetorização de uso e ocupação do solo em parte do bairro de Boa Viagem em 1986



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 17: Vetorização de uso e ocupação do solo em parte do bairro de Boa Viagem em 2015



Fonte: Elaborado pelos autores

Pelo fato das duas primeiras imagens (A e B) não possuírem definição de cor, foi apenas possível utilizar o método de cartogramas, no qual cada imagem foi dividida em quadrados de 30x30, e na área que cada um equivale, definiu-se a cor que representa o tipo de área correspondente. A tabela 2a apresenta os valores percentuais aproximados, relacionados a área de mangue, a tabela 2b, representa o uso do solo com base em três critérios de área (solo permeável, impermeável e logradouros), considerando a área de manguezal como permeável e na tabela 2c, foi considerada o percentual dos logradouros projetados (e ainda não implantados naquele ano), pavimentados e não pavimentados em relação ao total.

Tabela 2a: Percentual da área de manguezal

Tipo de área	1975	1986	2015
Área de manguezal	66%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2b: Uso e ocupação do solo

Tipo de área	1975	1986	2015
Área construída impermeável	8%	38%	65%
Área com solo permeável	79%	44%	6%
Logradouros	13%	18%	29%

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2c: Pavimentação dos logradouros

Tipo de logradouro	1975	1986	2015
Logradouro projetado (não implantado)	55%	38%	0%
Logradouros não pavimentados	11%	28%	0%
Logradouros pavimentados	34%	34%	100%

Fonte: Elaborado pelos autores

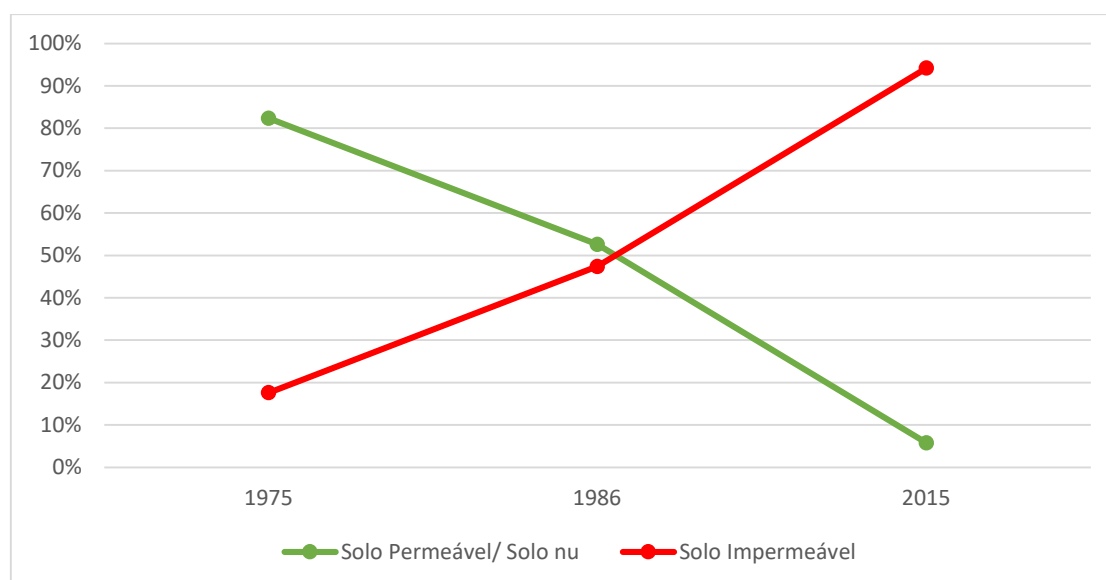
Com estes dados foi calculado a mudança temporal em relação à permeabilidade do solo na região, sendo considerados permeáveis/solo nu: a área de manguezal, os logradouros não pavimentados e as áreas como solo permeável, já o impermeável foram considerados as áreas construídas e os logradouros pavimentados, os dados estão detalhados na tabela 3 e ilustrados na figura 20.

Tabela 3: Evolução da impermeabilização do solo na área de estudo

Tipo de solo	1975	1986	2015
Solo Permeável	82%	53%	6%
Solo Impermeável	18%	47%	94%

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 18 - Evolução da impermeabilização do solo na área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir desses dados, fica evidenciado o avanço significativo da urbanização sobre o trecho do bairro estudado, onde houve a quase total impermeabilização do solo, trazendo como consequências a diminuição da infiltração das águas pluviais e o aumento considerável do volume de escoamento superficial. Quando esse tipo de situação ocorre, a tendência é de que a água que seria infiltrada, escoar até atingir o menor ponto topográfico da bacia, sendo uma das

consequências as inundações à jusante, que somadas à suscetibilidade da cidade do Recife em relação às marés altas, são algumas das grandes causas dos alagamentos ocorridos na cidade em dias de grandes precipitações (SILVA JUNIOR et al., 2017).

5.2 Testes de infiltração

Pautando-se no modelo escolhido, foram mapeados os testes de infiltração, seguindo o modelo citado em Bernardo et al. (2006), no qual usa-se um infiltrômetro de anel simples para medir a capacidade de infiltração (mm/h) da água no solo em cada furo. Apesar do mapeamento, os testes não foram realizados no local programado por dificuldades em encontrar lugares descampados, tendo em vista que as calçadas de concreto representam a quase totalidade delas. Os testes realizados nos canteiros centrais (ver figura 19) apresentaram resultados de infiltração quase nula, devido à sua construção que foi feita em cima de uma superfície pavimentada.

Figura 19 – Realização dos testes na Avenida Domingos Ferreira, Recife – PE, no dia 20/12/2019



Fonte: Arquivo pessoal do autor

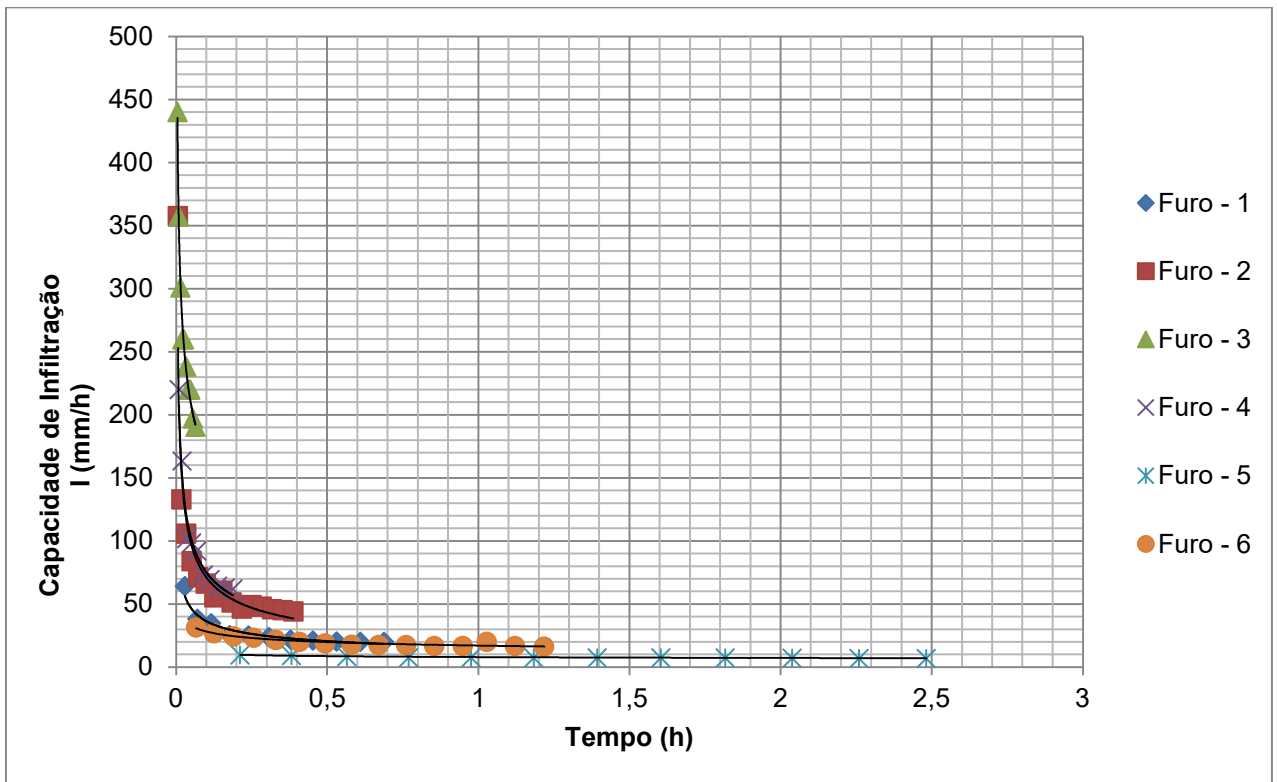
Os resultados foram calculados com base em testes já realizados e disponibilizados, no antigo Aeroclube do Pina (ver figura 20), local próximo em cerca de 250 m do local de estudo, para poder dar prosseguimento ao trabalho e haver representação. A figura 21 apresenta os gráficos em forma exponencial, utilizando linha de tendência na forma de potência, dos 6 furos realizados no local, que foram utilizados para os cálculos, sendo calculado o coeficiente de determinação (R^2) de cada teste, a fim de avaliar o quanto a curva foi capaz de representar os dados (ver tabela 4).

Figura 20 - Realização dos testes no antigo Aeroclube do Pina, Recife – PE, no dia 16/09/2019



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Figura 21 - Intensidade de infiltração nos furos 1,2,3,4,5,6



Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 4: Coeficiente de determinação dos testes de infiltração

Furos	Coeficiente de determinação (R ²)
1	0,9548
2	0,9383
3	0,9895
4	0,9714
5	0,9453
6	0,9164

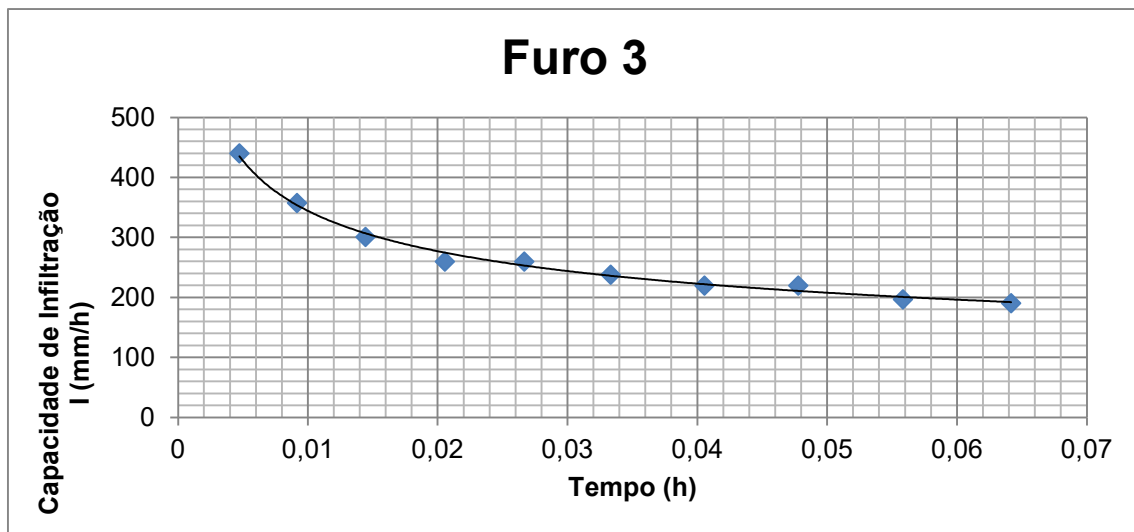
Fonte: Elaborado pelos autores

Apesar dos testes terem sido realizados em locais próximos, dentro de um raio de 30 m, os resultados variaram bastante. Optou-se, para fins de cálculo, utilizar apenas o valor da curva que obteve a maior correlação (0,9895) (furo 3).

5.3 Condutividade hidráulica do solo saturado

Segundo Baptista (2005), para que a utilização das valas de infiltração seja viável, a condutividade hidráulica do solo saturado deve apresentar um valor superior a 10^{-7} m/s. Para fins de cálculo desse valor, utilizou-se a Lei de Darcy, considerando o valor de infiltração (ver figura 22) do solo saturado do furo 3 (190,80 mm/h).

Figura 22 - Taxa de infiltração no furo 3



Fonte: Elaborado pelos autores

K = Condutividade hidráulica

$Q = [(vazão\ de\ infiltração - intensidade\ de\ infiltração) \times A] = 190,80\ mm/h \times (A)$

A = (Área do infiltrômetro)

$$K = - \frac{190,80 \times A}{A} = - 190,80\ mm \cdot h^{-1} = - 0,000053\ m \cdot s^{-1} = - 5,3 \times 10^{-5}\ m \cdot s^{-1}$$

O módulo de resultado encontrado satisfaz o mínimo especificado por Baptista (2005), que considerava válido o uso das valas, para valores acima de 10^{-7} m*s⁻¹.

Além disso é importante analisar a profundidade do lençol freático. Se o lençol freático estiver muito próximo da superfície do terreno a eficiência do processo de infiltração fica muito baixa e pode inviabilizar o uso da técnica compensatória de vala de infiltração. Nas condições que o bolsista dispunha não foi possível fazer o furo de sondagem para verificar a profundidade do lençol e fica portanto a recomendação para fazê-lo em futuros estudos.

5.4 Investigação do local quanto a fontes poluidoras atuais ou antigas

Como visto anteriormente um dos pontos da análise de viabilidade de Baptista (2005) é a investigação do histórico do local em relação a fontes poluidoras, pois a percolação da água em um solo contaminado poderia aumentar os níveis de poluição do lençol freático.

A partir das imagens disponibilizadas pela CONDEPE-FIDEM, PE3D (2020) e Google Earth (2020), foi feita uma varredura visual ao longo das décadas entre 1945 e 2019, na qual procurou-se identificar fontes poluidoras ao longo do tempo na área, como postos de combustíveis, indústrias, lavouras, chegando-se a conclusão de que desde o aterro da avenida e consequente abertura, sempre foi lhe destinado zonas residenciais e comerciais (GOMES, 2020).

Dentre os 32 lotes atuais considerados pela prefeitura localizados ao redor do local de estudo na Avenida Engenheiro Domingos Ferreira, 13 são residenciais, 17 comerciais, 1 empreendimento de uso misto e 1 terreno sem construções (ver figura 27). A possibilidade de a percolação da água no solo causar poluição ao lençol é baixa, quando se trata desse tipo de uso.

Figura 23: Mapa de tipologia urbana elaborado por levantamento de campo



Fonte: Elaborado por Mesquita (2017) a partir da Unibase

Portanto, fica comprovado a viabilidade em relação a esse ponto definido por Baptista (2005).

5.5 Pré-dimensionamento das valas de infiltração

Visando calcular a dimensão das valas de infiltração, utilizou-se o modelo presente no Manual de Drenagem urbana da Região Metropolitana de Curitiba (2002). O pré-dimensionamento de uma vala de infiltração é volumétrico. No início, a partir da capacidade mínima de infiltração, calcula-se a vazão de saída, na qual se considera a capacidade de infiltração mínima da lâmina d'água e a área da superfície da vala. A partir desse volume, coloca-se duas dimensões arbitrárias, calculado em planta, para que assim se calcule a profundidade média da vala de infiltração.

Para realização dos cálculos algumas simplificações foram feitas. Considerou-se a bacia de contribuição com 720 m² e a construção de dois locais de valas de infiltração, nas quais já foram

definidas duas dimensões (comprimento - C e largura - L) por fazer parte do projeto de requalificação das calçadas descrito por Mesquita (2017), sendo assim foram considerados duas valas de (30 x 1) m cada, totalizando 60 m² de trincheira.

Primeiramente, iremos calcular a vazão de saída constante do dispositivo, utilizando a equação:

$$Q_s = \alpha \times K$$

Sendo:

$$Q_s = \text{Vazão de saída constante do dispositivo (mm}^*\text{h}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha = \text{Coeficiente redutor à sedimentação (adimensional)} = 0,5 \text{ (valor indicado para valas)}$$

$$K = \text{Condutividade hidráulica do solo saturado (mm}^*\text{h}^{-1}\text{)} = 190,80 \text{ mm}^*\text{h}^{-1} \text{ (calculado no item 5.3)}$$

$$Q_s = 0,5 \times 190,80$$

$$Q_s = 95,4 \text{ mm}^*\text{h}^{-1}$$

Com base na equação IDF de Fendrich e Freitas (1989) a aproximação do volume máximo de acumulação na vala é dada por:

$$V = (7,11 \times \sqrt{\beta} \times T^{0,129} - 0,64 \times \sqrt{Q_s})^2$$

Onde:

$$V = \text{volume de acumulação das valas de infiltração (m}^3\text{);}$$

β = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento (bacias totalmente urbanizadas = 1) multiplicado pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo

$$T = \text{período de retorno em anos} = 2$$

$$Q_s = \text{vazão de saída constante do dispositivo (mm}^*\text{h}^{-1}\text{)} = 95,4 \text{ mm}^*\text{h}^{-1}$$

$$\beta = 1 \times \frac{720}{60} = 12$$

$$V = (7,11 \times \sqrt{12} \times 2^{0,129} - 0,64 \times \sqrt{95,4}) = 20,68 \text{ m}^3$$

$$H = \frac{20,68}{60} = 0,34 \text{ m}$$

Utilizando um coeficiente de segurança de aproximadamente 50%, definiu-se o valor da altura para 0,5 m, portanto utilizaremos duas valas de (30 x 1 x 0,5) m

5.6 Contribuição para o sistema de drenagem

Visando o cálculo da contribuição das valas de infiltração para o sistema de drenagem, deve-se primeiro calcular o escoamento superficial. Para fins de cálculo, foi considerada uma área de contribuição de 720 m² para as valas de infiltração, e a bacia totalmente impermeabilizada com um coeficiente de *run-off* (escoamento) equivalente a 1.

Modelo racional do cálculo do escoamento superficial: $Q_t = 0,278 \times C \times I \times A$

onde: Q_t = escoamento superficial total

C = coeficiente de "run-off" (=1) (bacias totalmente impermeáveis)

I = índice pluviométrico anual da região = 139,50 mm/h (t de retorno de 2 anos, recomendável para microdrenagem) (SILVA JUNIOR, 2015)

A = área em $\text{km}^2 = 7,2 \times 10^{-4} \text{ km}^2$

$$Q_t = 0,278 \times 1 \times 139,50 \times 7,2 \times 10^{-4} = 0,02792232 \text{ m}^3/\text{s} = 100,52 \text{ m}^3/\text{h}$$

A capacidade de infiltração máxima é limitada pela intensidade obtida com o solo saturado (190,80 mm/h) e um coeficiente redutor à sedimentação (equivalente 0,5), considerando que a área das valas de infiltração é correspondente a 60 m^2 , tem-se que a vazão infiltrada (Q_i) é:

$$Q_i = \alpha \times i \times A$$

$$Q_i = 0,5 \times (190,8 \times 10^{-3}) \times 60$$

$$Q_i = 5,724 \text{ m}^3/\text{h}$$

Levando em consideração que o valor foi calculado com a intensidade de infiltração do solo saturado, o valor da vazão encontrado é a considerada mínima. Segundo Yang (2020), no modelo Hortoniano, toda precipitação não infiltrada, transforma-se em escoamento superficial (Q_s), portanto:

$$Q_s = Q_t - Q_i$$

$$Q_s = 100,52 - 5,724$$

$$Q_s = 94,796 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (94,31\% do total)}$$

Segundo calculado, em um fenômeno de precipitação com tempo de retorno de 2 anos, as valas de infiltração diminuiriam em 5,69% o escoamento superficial. Porém, em chuvas com o tempo de recorrência mais baixos (fracas ou moderadas), no qual o solo não atinja a saturação, as valas de infiltração têm uma maior eficiência, pois a taxa de infiltração se manteria mais alta, proporcionando um maior volume infiltrado.

5.7 Elaboração de artigo científico

Durante os últimos meses, além dos relatórios parcial e final deste projeto de iniciação científica, também vem sendo desenvolvido um artigo científico que traz como proposta a análise da viabilidade das valas de infiltração na Avenida Engenheiro Domingos Ferreira, a ser submetido em um congresso ou periódico na área de engenharia, voltado para drenagem urbana. O artigo está em fase de atualizações, para posterior comprovação e publicação.

6. CONCLUSÃO

As consequências provenientes dos alagamentos na cidade do Recife ainda é um problema que reflete diretamente na vida dos pedestres e condutores dos veículos que transitam pela capital pernambucana. Durante o estudo percebeu-se por diversas vezes o caos generalizado na

cidade, em épocas chuvosas. Após análise e estudo do caso, viu-se que o trecho em questão na Avenida Domingos Ferreira sofre com alagamentos por apresentar solo impermeável.

A partir dos resultados dos testes de viabilidade, foi visto que as valas de infiltração são uma alternativa possível para diminuição dos volumes dos alagamentos na região estudada. Por esse trabalho se tratar de um projeto piloto, poderá ser uma solução futura para outros pontos da cidade.

Diante do exposto, é possível concluir que:

- O trecho em estudo necessita de uma nova alternativa quanto à drenagem;
- A construção das valas de infiltração é uma possível solução para diminuição do escoamento superficial e do sobre carregamento do sistema de drenagem;
- A partir do resultado do coeficiente hidráulico do solo saturado obtido através de testes de infiltração, foi validado o uso das valas de infiltração, seguindo o modelo proposto por Baptista (2005);
- Por análises de mapas de risco em relação ao lençol freático, foi obtido uma profundidade dentro da prevista para a implementação das valas de infiltração;
- A partir de análises de viés histórico e pesquisas de campo, não foram identificadas fontes poluidoras no local que prejudicassem sua futura implementação;
- O projeto será benéfico para a recarga do lençol freático, tendo em vista o aumento da infiltração da água no solo;
- O projeto auxiliará a manutenção paisagística-térmica do local, tendo em vista a plantação de novas árvores de médio porte;
- O projeto poderá diminuir o custo com a manutenção e consolidação da rede de canalização da drenagem, com um custo de implantação a ser estudado;
- Diminuindo o escoamento superficial das águas pluviais, poderá ser reduzido a proliferação de doenças, tendo em vista que ela não tem melhor qualidade que a água advinda do esgoto.
- O projeto não tem o objetivo de substituir as galerias pluviais e sim auxiliá-las;
- Em uma chuva com tempo de retorno de 5 anos as valas de infiltração diminuiriam em 5,69% o escoamento superficial.

7. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Ao longo do desenvolvimento do projeto de Iniciação Científica, as principais dificuldades encontradas foram: Entender o funcionamento dos testes de infiltração, equipamentos e materiais utilizáveis para a realização dos testes e principalmente a pandemia de COVID - 19 vivenciada pelo mundo, que fez parar totalmente os testes e ter que terminar o projeto a partir de estudos já realizados anteriormente e modificando para métodos que não eram a primeira opção, por não trazer resultados definitivos.

A maior complicação encontrada foi durante o planejamento e execução dos testes de infiltração, desde o mapeamento, até a localização dos pontos descampados, praticamente inexistentes. O uso de infiltrômetro de anel simples apresentou dados inconsistentes, havendo a necessidade de refazer o procedimento, para que assim, fossem encontrados resultados coerentes.

8. ATIVIDADES PARALELAS DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

Durante esse período de vigência da bolsa de iniciação científica do CNPq/FACEPE, o bolsista, Fabrício Eduardo Silva de Lima, se dedicou integralmente as atividades acadêmicas, estando no sétimo período da graduação. O trabalho tem aprimorado o conhecimento em relação às técnicas compensatórias em drenagem urbana, abrindo a possibilidade de continuação da pesquisa na elaboração de seu trabalho monográfico futuramente. Foi de extrema importância o apoio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UPE (PEC), no fornecimento dos equipamentos sob orientação do professor Willames Albuquerque, para realização dos testes de campo e a colaboração do professor Jaime Cabral com sua orientação técnica especializada no tema, além do fornecimento de dados pela CONDEPE-FIDEM.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre. Associação brasileira de recursos hídricos, 2005.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. E Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BOURGOGNE, P. **25 ans de solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la communauté urbaine de Bordeaux**. Novatech, 2010.
- BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. Third Edition published 2011 by Spon Press 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN.2011.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO (CONDEPE FIDEM). **Ortofoto carta 9000 do Recife**. Recife, 2019.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO (CONDEPE FIDEM). **Ortofoto carta 9050 do Recife**. Recife, 2019.
- COUTINHO, A. P. **Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife**. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- COSTA SOBRINHO, A.L.; CABRAL, J.J.S.P; PAIVA, A.L.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Uso do índice GALDIT para avaliação da vulnerabilidade à salinização do aquífero Boa Viagem – Região Metropolitana do Recife. **Revista de águas subterrâneas**. São Paulo, 2015.
- DA SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; MORAIS, W. A.; CUNHA, E. S.; ROQUE, R. C.; ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B. Métodos para estimativa da infiltração de água em um Latossolo sob plantio direto e convencional. **Global Science and Technology**. Goiânia, 2017
- ELLIS, J.B; Quality issues of source control. **Proceedings of CONFLO 92: Integrated Catchment Planning and Source Control**. Oxford, 1992
- EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA (EMLURB). **Estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife**. Recife: Paulista, 2013.
- EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA (EMLURB). **Estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife**. Recife: Paulista, 2017.
- FENDRICH, R. Chuvas intensas na estação pluviográfica Curitiba - Prado Velho. **ISAM/PUC-PR**. Curitiba, 2019
- FERRAZ, F.M et al.; Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sondagens e slug test em poços de monitoramento. **Revista InterfaceEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. São Paulo, 2015.
- FERREIRA, L.C. S. **Reuso De Água E Recarga De Aquíferos Em Regiões Costeiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- FREEDMAN, Bill. **Environmental ecology**: The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses. 2. ed. Londres: Academic Press, 1995
- GOMES, Carla Amado; LANCEIRO, Rui Tavares. Solos contaminados, riscos invisíveis. **Actas do colóquio**. Lisboa, 2020.

HIRATA, L.A.; ANGELINA SOBRINHA, L.; MORUZZI, R. B.; BARBASSA, A. P.; Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, 2015

HESPANHOL, I. (2002). Potencial De Reuso De Água No Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga De Aquíferos. **RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7, n.4 out/dez 2002, 75-95. São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries estatísticas e históricas:** Taxa de urbanização. Disponível em: <https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>. Acesso em: 18, Mar. 2019.

MELO, T. A. T. et al. Trincheiras de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. Porto Alegre. **Ambiente Construído (Online)**, v. 16, p. 53-72, 2016.

MESQUITA, A. M. **Proposta de requalificação urbana:** aplicação em trecho piloto da avenida Domingues Ferreira no Recife. 2017. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2017.

MIGUÉZ, M. G.; VERÓL, A. P.; MASCARENHAS, F. C. B.; SANTOS, R. B. Storage measures as compensatory techniques for urban lowlands flood control. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 9, n. 2, p. 225-236, 2014. <http://dx.doi.org/10.2495/SDP-V9-N2-225-236>.

MOURA, E. F. S. **Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana em área do Recife-PE**. Dissertação (Mestrado profissional em Tecnologia Ambiental) - Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). Recife, 2014.

PREFEITURA DO RECIFE. **Portal da transparência**. Disponível em: <http://transparencia.recife.pe.gov.br/codigos/web/despesas/consultasLivres.php>. Acesso em: 20 Mar. 2019.

PRIM, E.C.C.; CASTILHOS JUNIOR, A.B.; OLIVEIRA, J.C. IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS COM SOLOS ARGILOSOS: ESTUDO DA PERMEABILIDADE SEGUNDO A LEI DE DARCY. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Forianópolis, 2004.

RAMOS, C. L.; BARROS, M. T. L.; PALOS, J. C. F. (coords.). **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. São Paulo: FCTH (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica), 1999. 289p.

SILVA JÚNIOR, M.A.B. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

SILVA JÚNIOR, M.A.B.; SILVA, S.R.; CABRAL, J.J.S.P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife – PE. Recife. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.22, p. e19, 2017.

SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2013. **Projeto Técnico:** Jardins de Chuva. Disponível em: http://solucoeparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf. Acesso em: 08 Jul. 2020.

SOUZA, E.S.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R.S.; NETO, G. C. G.; SILVA, J. M. **Efeito do encrostamento superficial nas propriedades hidráulicas de um solo saturado.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias.v.2,n.1, p.69-74, Recife, 2007.

SOUZA, Felipe Miranda de; MEDEIROS, Carlos Luciano Rodrigues; MIRANDA, Daniel Augusto de. Proposição de técnicas compensatórias como alternativa para controle das águas escoadas no empreendimento imobiliário Fashion City (Pedro Leopoldo/ MG). Belo Horizonte. **Revista Petra**, vol.3, Belo Horizonte, 2017.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA). MANUAL DE DRENAGEM URBANA. Curitiba, 2019

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados.** São Paulo: USP, v. 22, n.63, p. 97-112, 2008.

YANG, M; ZHANG, Y; PAN, XINGYAO. Improving the Horton infiltration equation by considering soil moisture variation. **Journal of hydrology.** Beijin, 2020.