



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA IMPLANTAÇÃO DE  
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA CIDADE DE BARREIRAS-BA**

**GIOVANA GOMES DE ALMEIDA SANTOS**

**BARREIRAS – BA  
AGOSTO - 2024**

**GIOVANA GOMES DE ALMEIDA SANTOS**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA IMPLANTAÇÃO DE  
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA CIDADE DE BARREIRAS-BA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Oeste da Bahia,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Fabio Corrêa Alves

Coorientador: Dr. Vinícius de Oliveira Kühn

**BARREIRAS – BA**

**AGOSTO – 2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

S237 Santos, Giovana Gomes de Almeida.

Mapeamento geotécnico para implantação de trincheiras de infiltração na cidade de Barreiras-BA. / Giovana Gomes de Almeida Santos. – 2024.

64f.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Corrêa Alves.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2024.

1. Alagamentos. 2. Trincheira de infiltração. 3. Permeabilidade. I. Alves, Fabio Corrêa. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

---

**GIOVANA GOMES DE ALMEIDA SANTOS**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA IMPLANTAÇÃO DE  
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA CIDADE DE BARREIRAS-BA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Oeste da Bahia,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Engenharia Civil.

Aprovada em 30 de Agosto de 2024

**Banca Examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Dr. Fabio Corrêa Alves  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Coorientador: \_\_\_\_\_  
Dr. Vinicius de Oliveira Kühn  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

\_\_\_\_\_  
Dra. Samara Fernanda Silva  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Gomes Carvalho  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

*À meu avô, Heitor e à minha mãe, Jaonide, que mesmo frente as dificuldades me ensinaram o amor e os valores que trago no peito.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus que me permitiu chegar até aqui dando forças para enfrentar todos os obstáculos encontrados durante o percurso.

À minha família, em especial a minha mãe Jaonide, minha irmã Lauren, minha tia Janete e meu primo Vinícius, que me apoiaram em todos os momentos de dificuldade e comemoraram comigo em todas as conquistas.

Aos professores Vinícius de Oliveira Kühn e Fabio Corrêa Alves pela orientação, incentivos e paciência durante a elaboração deste trabalho. Ao professor Luís Gustavo Henrique do Amaral pelo apoio, disposição e orientação na execução e análise dos ensaios realizados.

Às minhas amigas Vanessa e Larissa que estiveram comigo nos momentos de ansiedade e cansaço. E aos meus amigos Lucas, Felipe, Guilherme, Kayan, Vinícius e Diego que me acompanharam nas diversas noites de estudo.

À toda a equipe de execução do Soft Residence pelo apoio, ensinamentos e paciência durante o meu estágio, em especial ao engenheiro Lucas Andrade, pela compreensão, paciência e auxílio durante o meu período no Soft e principalmente durante a execução deste trabalho.

## RESUMO

A recorrência de alagamentos é um problema que tem afetado alguns bairros da cidade de Barreiras no período de maior intensidade de chuvas nos meses de outubro a abril. Para solucionar esse problema recomenda-se adotar alternativas sustentáveis e de baixos custos para melhorar a eficiência dos sistemas convencionais de drenagem, a exemplo das trincheiras de infiltração.

Com o objetivo de encontrar áreas mais favoráveis a implantação de trincheiras de infiltração no perímetro urbano de Barreiras, foram mapeados a ocorrência dos diferentes tipos de solos quanto à textura e a taxa de infiltração a partir da construção e análise de um banco de dados dos ensaios de sondagem a percussão (SPT) cedidos por empresas de sondagens da região e na realização de ensaios de infiltração.

Os ensaios de infiltração foram realizados nos bairros Barreirinhas, Parque da Cidade, Parque das Águas e Recanto dos Pássaros, além de ser analisado os resultados obtidos por Souza (2017) no Bairro Renato Gonçalves. Com base no ensaio, os bairros Parque da Cidade e Recanto dos Pássaros apresentaram características de permeabilidade favoráveis para a implantação de trincheiras de infiltração. Além disso, o mapeamento de texturas do solo revelou que dentre os bairros analisados, nove apresentaram textura arenosa que tendem a ser mais favoráveis para a implantação de estruturas de infiltração.

**Palavras-chave:** Alagamentos; trincheira de infiltração; permeabilidade

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balanço hídrico antes e após a urbanização.....	9
Figura 2 - Principais perfis de trincheira de infiltração.....	15
Figura 3 - Determinação do volume da trincheira - Método das chuvas .....	16
Figura 4 - Zoneamento do uso e ocupação do solo e localização do perímetro urbano de Barreiras, Oeste da Bahia .....	23
Figura 5 - Mapa geológico regional do entorno da cidade de Barreiras com a localização da sede municipal e os poços cadastrados pelo SIAGAS da CPRM na região .....	24
Figura 6 – Pedologia do perímetro urbano de Barreiras .....	25
Figura 7 - Mapeamento de caracterização do solo à profundidade de 4 a 5 metros para o perímetro urbano de Barreiras .....	27
Figura 8 - Anéis concêntricos cravados para ensaio de infiltrômetro de anel.....	29
Figura 9 - Ensaio de infiltrômetro de anel convencional .....	30
Figura 10 - Sistema semiautomático para ensaio de infiltrômetro de anel .....	30
Figura 11 – Reservatório conectado ao anel interno .....	31
Figura 12 - Espacialização dos pontos de ensaio SPT catalogados e de infiltrômetro de anel realizados.....	32
Figura 13 – Análise de grades (500x500m) das texturas de solo do perímetro urbano de Barreiras-BA .....	37
Figura 14 - Gráfico de infiltração 1 (Parque da Cidade).....	39
Figura 15 – Gráfico de infiltração 2 (Barreirinhas).....	40
Figura 16 - Gráfico de infiltração 3 (Recanto dos Pássaros).....	41
Figura 17 – Diagrama de infiltração de água no solo (Bairro Recanto dos Pássaros).....	42
Figura 18 - Gráfico de infiltração 4 (Parque das Águas) .....	43
Figura 19 – Diagrama de infiltração de água no solo (Bairro Renato Gonçalves) .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores comuns para coeficientes de permeabilidade .....	20
Tabela 2 - Taxas de infiltração mínimas para implantação de trincheiras de infiltração..	260
Tabela 3 - Normais climatológicas (mm) para Barreiras-BA de 1991 a 2020 da estação Barreiras 83236 (Coordenadas: -12.155833, -45.008333).....	26
Tabela 4 - Dados analisados para cada bairro estudado.....	33
Tabela 5 - Texturas predominantes por profundidade .....	35
Tabela 6 - Dados de referência para ensaio de infiltração 1 (Parque da Cidade).....	39
Tabela 7 - Dados de referência para ensaio de infiltração 2 (Barreirinhas) .....	40
Tabela 8 - Dados de referência para ensaio de infiltração 3 (Recanto dos Pássaros) .....	41
Tabela 9 - Dados de referência para ensaio de infiltração 4 (Parque das Águas) .....	43
Tabela 10 - Resumo de resultado de ensaio SPT no bairro Renato Gonçalves .....	44
Tabela 11 - Resumo de permeabilidade por bairro estudado .....	46
Tabela 12 - Critérios de escolha de locais para implantação de trincheiras de infiltração..	47

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
3.1	CONTEXTO SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO URBANO E A DRENAGEM URBANA .....	9
3.2	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS .....	11
3.3	CONCEITO E APLICAÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO .....	13
3.4	FLUXO DE ÁGUA EM SOLOS E PERMEABILIDADE .....	18
3.5	ENSAIOS DE CAMPO PARA DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE .....	21
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
4.1	GENERALIDADES DA ÁREA DE ESTUDO .....	22
4.1.1	GEOLOGIA E PEDOLOGIA .....	24
4.1.2	CLIMA .....	26
4.2	LEVANTAMENTO E TABULAÇÃO DE DADOS OBTIDOS VIA ENSAIOS SPT .....	26
4.3	ELABORAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA O MAPEAMENTO DAS TEXTURAS DE SOLO .....	28
4.4	ENSAIOS DE CAMPO.....	28
4.4.1	ENSAIO DE INFILTRÔMETRO DE ANÉIS CONCÊNTRICOS .....	29
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>31</b>
5.1	AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS SPT TABULADOS .....	31
5.2	MAPEAMENTO.....	36
5.3	AVALIAÇÃO DO RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO.....	38
5.3.1	ENSAIO 1: BAIRRO PARQUE DA CIDADE.....	38
5.3.2	ENSAIO 2: BAIRRO BARREIRINHAS .....	39
5.3.3	ENSAIO 3: BAIRRO RECANTO DOS PÁSSAROS .....	40
5.3.4	ENSAIO 4: LOTEAMENTO PARQUE DAS ÁGUAS .....	42
5.4	ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO COM BASE NA TAXA DE INFILTRAÇÃO.....	45
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A época de chuva em diversas regiões do país representa uma preocupação visto que a ocorrência de enchentes e alagamentos é um problema recorrente. Os alagamentos são problemas relacionados tanto a rede de drenagem local quanto à intensidade e frequência de ocorrência das chuvas, podendo ocorrer devido as alterações do uso e cobertura do solo, aumento de chuvas intensas, obstrução de condutos, subdimensionamento ou falta de manutenção dos dispositivos ou outras situações que provocam o acúmulo de água em áreas urbanas (Nylander et al., 2021).

As alterações climáticas têm se tornado uma realidade cada vez mais perceptível devido à fatores como o aumento do vapor d'água na atmosfera, alterações de intensidade e frequência das chuvas, mudança da umidade do solo e derretimento da cobertura de gelo (Lacerda et al., 2014). No Brasil, há forte indício de que o reflexo dessas alterações esteja relacionado principalmente a maior frequência e intensidade na ocorrência de eventos extremos de curta duração como chuvas de alta intensidade, secas, vendavais, ondas de frio e calor, furacões, inundações e ressacas (Marengo et al., 2007). Dessa forma, os sistemas de drenagem tendem a se tornar ineficientes visto que não foram dimensionados para tais situações.

O manejo de águas pluviais no Brasil é feito majoritariamente por meio da drenagem convencional, cujo métodos consistem em realizar intervenções físicas como a instalação de dispositivos de drenagem que buscam recolher e canalizar a água da chuva da forma mais rápida possível até os corpos d'água (Silvestri, 2018). Para complementar o sistema tradicional de drenagem têm sido estudadas alternativas, como por exemplo, as técnicas compensatórias de drenagem. As técnicas compensatórias de drenagem são estratégias que possuem como objetivo reduzir os picos de vazão, fazendo com que o escoamento ocorra gradualmente (Alencar et al, 2022).

Uma das técnicas mais utilizadas são as trincheiras de infiltração que possui como fundamento principal o armazenamento temporário de águas que seriam escoadas superficialmente, para posterior percolação da mesma no solo e recarga das águas subterrâneas (Melo et al., 2016). Cada técnica compensatória possui suas limitações e requisitos para que seu funcionamento seja eficiente e alcance os resultados desejados. Portanto, é fundamental conhecer os principais aspectos intrínsecos ao local e ao solo onde a técnica será executada. Alguns desses aspectos são a topografia, características físicas do solo, profundidade do lençol freático, entre outros.

A cidade de Barreiras localizada no Oeste da Bahia, também sofre com alagamentos em diversas partes da sua área urbana devido à falta de uma gestão adequada de suas águas pluviais nos períodos chuvosos e a ausência de sistemas de microdrenagem. Os principais fatores responsáveis por causar transtornos à população barreirense no que diz respeito as águas pluviais, são as condições topográficas da cidade e o gerenciamento das águas da chuva devido à um sistema de drenagem ineficiente (Silva, 2013).

Tendo em vista as questões mencionadas, a necessidade de buscar por soluções técnicas para os problemas de alagamentos em Barreiras-BA é evidente. Neste sentido, a possibilidade de implantação de trincheiras de infiltração em determinados locais na cidade considerando fatores como a permeabilidade e as características geotécnicas dos solos são ainda necessários.

## **2. OBJETIVOS**

Esse trabalho tem como objetivo geral identificar áreas favoráveis a implantação de trincheiras de infiltração no perímetro urbano da cidade de Barreiras, Bahia, a partir da caracterização de solos quanto à textura e a taxa de infiltração.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos tem-se:

- Criar um banco de dados dos tipos de solos do perímetro urbano com base em resultados de ensaios de sondagem a percussão disponíveis em levantamento bibliográfico e cedidos por empresas de sondagens;
- Identificar áreas do perímetro urbano potencialmente disponíveis a implantação de trincheiras de infiltração.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

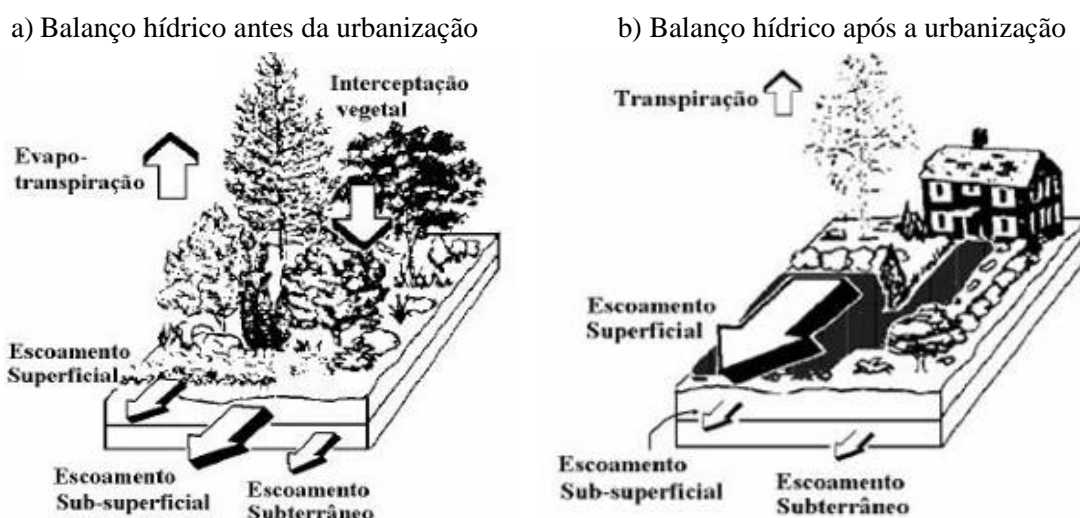
#### 3.1 Ciclo hidrológico urbano

A chuva, forma mais comum de precipitação no Brasil, enfrenta diversos processos ao chegar na superfície até que alcance a sua destinação final, seja ela o escoamento, a infiltração ou a evapotranspiração. Após a precipitação, parte da água da chuva pode evaporar tanto no trajeto até a superfície quanto após ser interceptada pela vegetação. A outra parcela se divide, sendo uma porcentagem infiltrada no solo proporcionalmente à sua porosidade e umidade e a parte remanescente escoada superficialmente, por meio da gravidade até as regiões de menor cota (Tucci e Beltrame, 1993).

No ambiente natural, a água da chuva passa pelos processos de evaporação, transpiração, infiltração e escoamento sem gerar prejuízos ao meio, considerando que o seu trajeto é mais lento devido aos obstáculos naturais, o que proporciona mais tempo para a evaporação, além de existir um grande quantidade de áreas disponíveis para infiltração. Em um ambiente urbanizado, a alteração das condições naturais promove impactos, dentre estes, o aumento do escoamento superficial, redução do tempo de concentração e redução da capacidade de infiltração e armazenamento natural (Miguez et al., 2016).

Com o crescimento e desenvolvimento urbano, o balanço hídrico é impactado devido às grandes mudanças físicas geradas nas características das bacias hidrográficas e nas águas pluviais que escoam através dela. Esses impactos estão intrinsecamente relacionados à quantidade de áreas permeáveis, qualidade da água pluvial e propriedades do seu fluxo, como velocidade, padrão de comportamento e trajetória, entre outros fatores que acabam influenciando diretamente no aumento das vazões de pico (Almeida, 2016) (Figura 1).

Figura 1 – Balanço hídrico antes e após a urbanização



Fonte: Schueler (1987)

O balanço hídrico avalia dentro de uma bacia hidrográfica cada um dos processos que compõem o ciclo hidrográfico. É chamada de bacia hidrográfica a área onde a água precipitada é captada por meio de drenos naturais gerados pela própria topografia e todos os seus escoamentos convergem para um único ponto de saída denominado exutório (Silveira, 2001).

As inundações podem ser urbanas ou ribeirinhas. A inundação ribeirinha ocorre quando as áreas próximas a rios são cobertas por água devido ao grande volume hídrico que chega simultaneamente ao leito do rio. Já a inundação urbana acontece quando as águas dos corpos d'água invadem áreas urbanas (Tucci *et al.*, 2003). Segundo Nucase (2007), enchentes e inundações urbanas ocorrem não apenas pela impermeabilização do solo e aumento da capacidade de escoamento gerada pela implementação de condutos e canais, mas também pela ocupação de áreas ribeirinhas e por problemas específicos, como obstrução do escoamento e projetos de drenagem inadequados ou insuficientes.

Além da impermeabilização, a aplicação da drenagem tradicional que consiste em realizar obras como canais, sarjetas e outros dispositivos de micro e macro drenagem a fim de retirar de forma rápida o excesso de água presente nas áreas urbanas, contribui para a ocorrência de fenômenos como enchentes, pois tende a transferir o problema para outros locais (Pompêo, 2000). Isso ocorre devido ao fato de que tais dispositivos aceleram a velocidade de escoamento da água, diminuindo, conseqüentemente, a sua infiltração e aumentando a quantidade de água que chega ao mesmo tempo nas regiões mais baixas da cidade, elevando assim a possibilidade de ocorrência de alagamentos, enchentes e inundações.

Outro problema relacionado a drenagem urbana, é a deterioração da qualidade da água infiltrada e, especialmente, a escoada superficialmente, visto que existem cidades onde os sistemas de drenagem não possuem uma separação eficiente do esgoto sanitário (Henriques *et al.*, 2021). Assim, a água da chuva se mistura a materiais sólidos transportados durante o seu percurso, ao esgoto advindo de ligações clandestinas à rede pluvial e à água de lavagem das ruas (Tucci, 2005). A perda gradativa da qualidade da água tende a ser repassada aos rios e córregos de destino das águas pluviais.

Considerando os riscos e perigos aos quais a população fica exposta devido ao aumento dos alagamentos e enchentes, bem como a perda de qualidade da água pluvial, torna-se imprescindível a pesquisa e implementação de sistemas eficientes de drenagem pluvial. Esses sistemas de drenagem pluvial podem ser classificados em três níveis (Tucci *et al.*, 2003):

- a) Na fonte: escoamento local em áreas pequenas como lotes, parques, estacionamentos, praças, entre outros;
- b) Microdrenagem: são sistemas de condutos ou canais que atendem a um ou mais loteamentos;
- c) Macrodrenagem: são sistemas que atendem grandes áreas e envolvem diversos sistemas de microdrenagem.

Ao longo dos anos, o conceito de drenagem foi predominantemente vinculado à implementação de medidas estruturais. Tais medidas seguem os conceitos higienistas do século XIX, segundo os quais a drenagem era tratada como a solução básica para o acúmulo de água removendo a água pluvial de maneira rápida e eficiente das áreas urbanas (Carvalho, 2008). As medidas estruturais são a base da drenagem convencional, elas envolvem intervenções físicas como a instalação de canais, desvios e sarjetas para remover o excesso de águas pluviais das áreas urbanas e conduzi-las via gravidade para cotas mais baixas até escoar por rios, córregos, entre outros, e assim, reduzir os problemas associados aos alagamentos. Porém, a construção desses dispositivos pode gerar a sobrecarga dos corpos hídricos devido à alta captação e transferência das águas pluviais para esses locais, não sendo em muitos casos, a solução mais eficiente, além de em sua maioria, apresentarem custos elevados e técnicas pouco sustentáveis.

Sendo assim, nos últimos anos têm se estudado outras formas de se minimizar os efeitos de inundações, enchentes e alagamentos, como por exemplo, a execução de planejamento de uso e ocupação de planícies de inundação e o uso das chamadas medidas ou técnicas compensatórias que atuam sobre os processos hidrológicos e reduzir os volumes ou vazões de escoamento superficial (Pompêo, 2000). Tais técnicas e ações têm sido aplicadas devido ao seu menor custo e prazo de atuação mais longo, além de considerar uma abordagem ligada ao desenvolvimento sustentável.

### **3.2 Técnicas compensatórias**

As técnicas de drenagem convencional são de suma importância para lidar com as chuvas e, complementarmente, têm se buscado cada vez mais associá-las as medidas não convencionais a fim de tornar a drenagem urbana mais eficiente e evitar os muitos transtornos causados por problemas e ineficiências no sistema de drenagem, além de reduzir os altos custos representados pelas obras de galerias, bueiros, entre outros dispositivos. As medidas não convencionais de drenagem são um conjunto de obras, mecanismos, conceitos e técnicas alternativas que buscam adequar ou otimizar o sistema de drenagem já existente,

estando ou não associadas ao conceito de canalização da água (Canholi, 2005). Dentre essas medidas, as que mais se destacam devido ao seu uso frequente são as que buscam promover a infiltração das águas pluviais, reter os escoamentos por meio de bacias e reservatórios, retardar o seu fluxo e proteger áreas baixas com diques (Canholi, 2005).

Segundo Reis (2008), as técnicas compensatórias de drenagem compõe um conjunto de soluções sustentáveis para a gestão e controle das águas da chuva com base na aplicação de técnicas que reduzem o escoamento superficial e a vazão imediata escoada pelo sistema convencional de drenagem, evitando que o mesmo seja sobrecarregado e demande maiores estruturas além de, conseqüentemente, mitigar as chances de ocorrência de alagamentos e inundações, reduzindo o impacto social, econômico e ambiental gerado pelas chuvas. Martins (2017) afirma que o principal objetivo das técnicas compensatórias é compensar a perda de capacidade de drenagem natural do meio ambiente devido ao desenvolvimento urbano e a instalação de métodos alternativos de drenagem. De acordo com Santos (2021), os dispositivos utilizados para realizar essa compensação são aqueles que permitem o escoamento das águas pluviais de forma semelhante ao processo natural, simulando as condições anteriores ao processo de impermeabilização das superfícies e aumentando a capacidade de infiltração da água no solo e a diminuição do volume e da velocidade do escoamento.

As técnicas compensatórias de drenagem são compostas em sua maioria, por um grupo de estruturas implantadas com o objetivo de recuperar parcialmente as condições de escoamento natural e as vazões a jusante, além do controle de escoamento superficial na fonte (Melo et al., 2016). O controle do escoamento na fonte consiste no conceito de que o escoamento das águas pluviais em áreas edificadas deve ser tratado diretamente no local onde ele for gerado, por meio do uso de soluções com baixo impacto ambiental, junto a edificações e pequenas áreas urbanas. Dessa forma, se evita o transporte de um amplo volume de água pluvial por meio do escoamento superficial para um determinado ponto a jusante (Reis, 2018; Tucci, 2005). O controle na fonte envolve ainda o estudo das cargas poluidoras e o tratamento das águas pluviais a fim de evitar a poluição contínua das águas coletadas pelo sistema (Tucci, 2005).

Dentre as diversas técnicas compensatórias existentes estão soluções que consistem na retenção do escoamento. Conforme Canholi (2005), tais soluções consistem em estruturas que minimizam os picos de vazão devido ao armazenamento temporário de parte da água que seria escoada superficialmente. Além de amortecer os picos de vazões, algumas das estruturas que utilizam esse método ainda se tornam responsáveis pela melhoria da qualidade

da água. Isso ocorre pois enquanto a água permanece nos reservatórios, os poluentes e outras partículas são sedimentados e decantados, sendo descartado posteriormente. No caso de estruturas que retém a água por meio da infiltração, os poluentes tendem a ficarem presos em filtros compostos por materiais de diferentes granulometrias (Canholi, 2005; Melo *et al.*, 2016).

A estratégia de retenção do escoamento para suavizar os picos de vazão tende a ser altamente eficaz, uma vez que reduz a quantidade de água liberada de forma simultânea, de modo a proporcionar ao sistema de drenagem convencional um período maior para realizar o escoamento de maneira adequada.

Conforme Martins (2017), o Brasil tem avançado lentamente no aprimoramento do gerenciamento das águas pluviais. No entanto, a partir de 2006, observou-se uma clara tendência de expansão desse processo, impulsionada pela obrigatoriedade da elaboração dos planos diretores municipais. Porém, apesar desse avanço, ainda se tem a drenagem convencional como meio principal, mesmo sendo apontada uma redução de custo entre 25% e 80% ao se implementar técnicas compensatórias de drenagem (Martins, 2017).

O uso das técnicas compensatórias deve ser avaliado a fim de identificar a técnica que mais se adapta ao local em questão. Para isso, deve se considerar a área de contribuição de drenagem, vazão de escoamento superficial, capacidade de infiltração, nível de lençol freático, índice pluviométrico, duração e frequência de chuvas e as formas de uso e ocupação do solo (Reis, 2018).

### **3.3 Trincheiras de Infiltração**

O uso de técnicas compensatórias que envolvem a infiltração e retenção da água pluvial têm se popularizado e vem sendo aplicadas com o objetivo de desafogar os sistemas convencionais de drenagem, dentre estas destaca-se a trincheira de infiltração. Segundo Melo *et al.* (2016), as trincheiras de infiltração são estruturas lineares com o comprimento consideravelmente maior que suas dimensões de largura e profundidade, cujo objetivo é amortecer e infiltrar os volumes que seriam escoados pela superfície. Sua construção consiste em escavar uma área determinada e preencher com materiais graúdos e de alta porosidade como brita ou seixos rolados a fim de permitir uma adequada infiltração das águas superficiais (Akan, 2002; Bouwer, 2002). Atualmente, são estudados e utilizados ainda como material de preenchimento das trincheiras materiais alternativos, reciclados ou industrializados que possuam alta porosidade e alta disponibilidade como garrafas PET, resíduos de construção civil e outros (Silva, Carvalho e Palmeira, 2012).

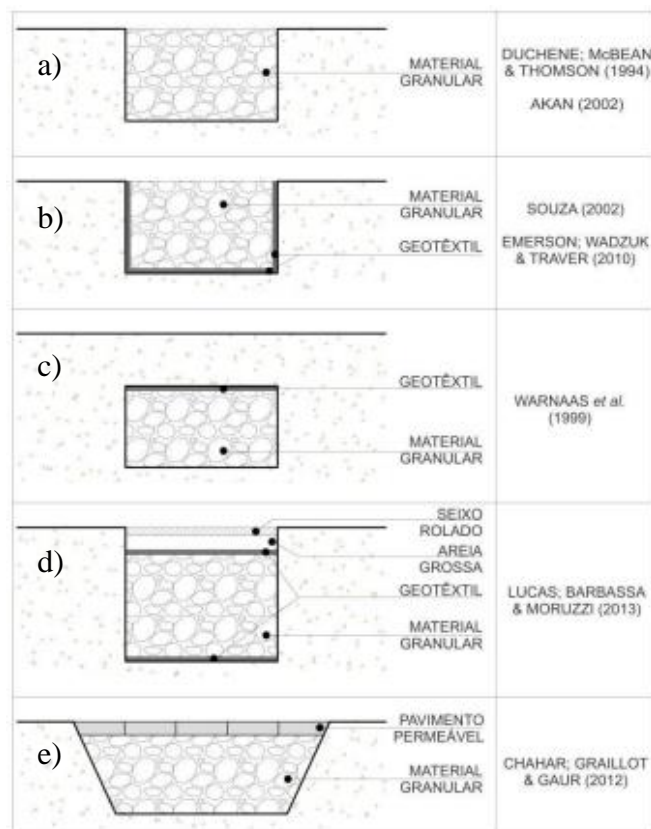
O principal objetivo das trincheiras de infiltração, assim como outras técnicas compensatórias que utilizam soluções de infiltração, é reter a água precipitada no material de preenchimento da estrutura por tempo suficiente para que sua posterior infiltração e escoamento ocorra de forma gradativa, de forma que ela haja temporariamente como um reservatório para amortecer cheias. Após o processo de infiltração, ao alcançar a saturação do solo da região de contorno da trincheira, a água coletada percola por meio do reservatório até o ponto de extravasamento, onde a água passa a ser escoada pelo sistema convencional de drenagem (Reis, 2008).

A estrutura das trincheiras de infiltração, na maioria dos casos, conta ainda com uma separação entre o solo e o material da trincheira feita por um geotêxtil com o objetivo de evitar que partículas finas e elementos contaminantes entrem em contato com o solo. Algumas contêm ainda uma camada de areia ou material orgânico em sua superfície para aumentar a retenção de possíveis poluentes (Akan, 2002).

A Figura 2 apresenta os principais perfis de trincheiras de infiltração. São apresentados 5 tipos principais:

- a) Tipo 1: trincheira retangular preenchida apenas com material granular com grão de diferentes tamanhos;
- b) Tipo 2: possui a mesma configuração do tipo 1 porém além do material granular utiliza material geotêxtil na base da sua estrutura;
- c) Tipo 3: se trata também de uma trincheira retangular preenchida com material granular, porém coberta com geotêxtil seguida de uma camada de solo de cobertura;
- d) Tipo 4: trincheira quadrada constituída por diversas camadas de diferentes materiais, sendo eles respectivamente o geotêxtil, material granular, outra camada de geotêxtil, areia grossa e seixo rolado;
- e) Tipo 5: trincheira trapezoidal composta de material granular coberta por pavimento permeável.

Figura 2 - Principais perfis de trincheira de infiltração



Fonte: Melo *et al.* (2016)

A escolha e implantação dessa estrutura como técnica compensatória, bem como o seu perfil, deve levar em consideração as características de uso e ocupação do solo, a topografia local, infraestrutura existente (incluindo a de drenagem), características do solo, entre outros aspectos inerentes à região onde se deseja implantá-la para determinar a sua viabilidade (Melo *et al.*, 2016). O uso das trincheiras se torna inviável em locais com áreas aterradas devido a mudanças já geradas ao solo original, locais com inclinação superior a 5%, visto que altas declividades são responsáveis pelo aumento da velocidade de escoamento e menor se torna o volume de água que pode ser captado pela estrutura nessas condições (Urbonas e Stahre, 1993).

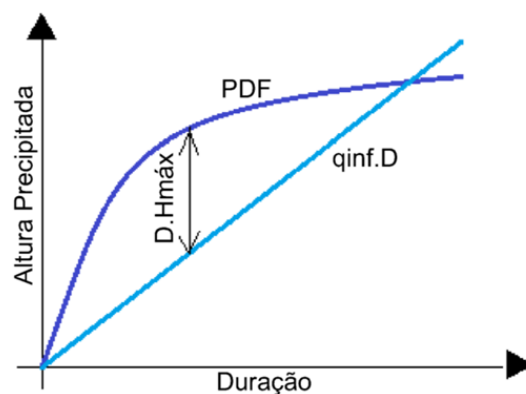
Para definir o uso das trincheiras como técnica compensatória a ser aplicada é necessário realizar o estudo e caracterização do solo presente no local desejado, assim como o comportamento dos fluxos de água, uma vez que as propriedades do solo e as condições iniciais e locais do ambiente tendem a influenciar na direção, volume e velocidade do escoamento do fluxo (Melo *et al.*, 2016). Os locais mais indicados para a implantação dessa técnica são regiões que possuem solos naturais com baixa concentração de argila e silte, e alta permeabilidade, promovendo maiores taxas de infiltração e tornando o sistema eficiente.

As trincheiras de infiltração são indicadas para áreas residenciais que possuam de média a alta densidade de ocupação e que possuam solos com permeabilidade suficiente para garantir uma taxa de infiltração razoável e com lençol freático em nível suficientemente baixo para evitar possíveis contaminações (Miguez *et al.*, 2016). Dessa maneira, ensaios que possibilitem mensurar a taxa de infiltração e permeabilidade do solo como, por exemplo, por meio de infiltrômetro de anel, tendem a funcionar como uma das formas de avaliação da implantação de trincheiras de infiltração.

Segundo Caputo (2012), o dimensionamento de trincheiras de infiltração considera uma área de contribuição e um tempo de retorno estabelecidos previamente em projeto, o qual é calculado em função do coeficiente de condutividade hidráulica ( $k$ ) obtido por meio de ensaios de permeabilidade no local onde se deseja implantar a trincheira.

Existem diversos métodos de dimensionamento de dispositivos de infiltração. Dentre eles, o método das chuvas, também conhecido como método Puls. Esse método realiza, com base nas curvas PDF (Precipitação, Duração e Frequência) para o tempo de retorno desejado, um conjunto de gráficos da lâmina precipitada e a curva de lâmina de água infiltrada pelo tempo, onde a diferença máxima entre elas é a estimativa do volume de armazenamento da trincheira, Figura 3 (Caputo, 2012).

Figura 3 - Determinação do volume da trincheira pelo método das chuvas



Fonte: Caputo (2012)

O método de Puls se baseia na equação da continuidade, que admite uma função contínua para todas as variáveis ao decorrer do trecho em estudo com escoamento superficial livre (Schuster, 2014). Para solucionar as equações obtidas por meio deste método é necessário a utilização de métodos numéricos (Caputo, 2012).

A aplicação desse método para as trincheiras de infiltração ocorre por meio de diversas equações. Pela Equação 1 se apresenta a relação entre o volume de entrada, saída e de armazenamento da estrutura, sendo o último obtido pela diferença entre o volume de entrada e saída de água.

$$\frac{dH}{dt} = q_e - q_{inf} - \nabla\phi \quad (1)$$

Onde:

$q_e$  = vazão de entrada por unidade de área de infiltração;

$q_{inf}$  = vazão de saída (extravasada) por unidade de área de infiltração

$\nabla\phi$  = gradiente hidráulico (m/m);

$H$  = lâmina d'água da trincheira;

$T$  = tempo

A vazão de entrada é obtida por meio do hidrograma de projeto, e o controle hidráulico com base na vazão infiltrada considerando o solo saturado, conforme Equação 2.

$$q_{inf} = k * \nabla\phi \quad (2)$$

Onde:

$k$  = condutividade hidráulica saturada (m/s);

$\nabla\phi$  = gradiente hidráulico (m/m).

Souza (2002) realizou experiências em trincheiras de infiltração no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e determinou que durante a situação mais crítica descrita em projeto, obteve-se um alto desempenho da estrutura. O projeto das trincheiras contava com a drenagem de uma área de 200 m<sup>2</sup> que devido às dificuldades de delimitação excedeu esse valor recebendo uma contribuição total de 600 m<sup>2</sup>. Apesar do aumento da área de drenagem, as trincheiras atuaram com folga da sua capacidade tendo o volume máximo de água armazenada correspondente a 64% do volume disponível na trincheira 1 e a 77% na trincheira 2, mesmo desconsiderando os coeficientes de segurança.

Melo et al. (2016) realizou um estudo semelhante na cidade de Recife (PE). A trincheira estudada por Melo et al. (2016) foi instalada no Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e projetada para uma área de contribuição de 250 m<sup>2</sup>. Conforme as análises do experimento, a infiltração no dispositivo permaneceu instável e a água precipitada durante os diversos eventos analisados foi suficiente para que a estrutura funcionasse em seu limite máximo e, posteriormente, alcançasse uma alta parcela de água extravasada. Um dos fatores apontados como determinante para esses resultados foi a alta carga de material argiloso recebida pela trincheira devido a fatores externos.

Graciosa (2005) executou um estudo a respeito das trincheiras de infiltração em duas áreas que se distinguiam em relação as características de infiltração devido ao tipo de solo. O ensaio 1 (solo argiloso) foi realizado na estação climatológica do Centro de Recursos

Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos e o ensaio 2 (solo arenoso) nas imediações do Departamento de Hidráulica e Saneamento do campus da USP também em São Carlos. Foram retiradas amostras dos solos para ensaios de caracterização em laboratório, realizados ensaios de campo para se obter as condutividades, taxa de infiltração e curva de retenção dos solos e, em seguida, dimensionadas e construídas trincheiras experimentais. O resultado do experimento apontou que o uso das trincheiras a fim de reduzir o escoamento superficial é eficiente, apresentando pouca diferença na capacidade de drenagem dos dois diferentes solos ensaiados que podem ser atribuídos a fatores como estrutura do solo, dentre outros fatores. Além disso os ensaios apresentaram boa percolação e redistribuição da água no solo.

Com base nos estudos apresentados, é perceptível a eficiência do uso de trincheiras de infiltração para amortecer temporariamente o volume de água pluvial escoado superficialmente. Por meio do ensaio de Graciosa (2005), entende-se que é possível a implantação das trincheiras em solo argiloso desde que o resultado dos ensaios aponte que o solo possui boa permeabilidade proporcionando o funcionamento adequado da estrutura.

### **3.4 Fluxo de água em solos e permeabilidade**

A água infiltrada geralmente tende a ocupar todo ou grande parte dos vazios presentes no solo e se deslocar em seu interior por meio das diferenças de potenciais presentes no meio. A quantidade de água infiltrada dependerá da permeabilidade do solo, quanto maior a permeabilidade maior a facilidade com qual a água percorre o solo (Alonso, 1999).

A permeabilidade de um solo pode ser determinada por meio do chamado coeficiente de permeabilidade que, por sua vez, pode ser encontrado de forma experimental por meio da lei de Darcy (1856).

O experimento Darcy verificou que fatores geométricos como a área a ser analisada influenciava diretamente na vazão percolada por meio do solo (Pinto, 2006). Com base nessa observação, Darcy desenvolveu a Equação 3 conhecida como lei de Darcy, a qual é utilizada para determinar a vazão.

$$Q = k * \frac{\Delta h}{L} * A \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

A = área da amostra (m<sup>2</sup>);

k = coeficiente de permeabilidade (m/s);

Δh = diferença de carga hidráulica responsável pelo fluxo (m);

L = comprimento da amostra (m).

O coeficiente de permeabilidade do solo (k) é influenciado por cinco principais fatores (Pinto, 2006; Heinzen, 2019):

- 1) Estado do solo: Está diretamente ligado ao índice de vazios. Quanto maior o índice de vazios mais espaço a água tem livre para percolar e, portanto, maior o coeficiente;
- 2) Grau de saturação: Um solo não saturado possui menor coeficiente de permeabilidade que um saturado visto que as bolhas de ar presente nos vazios se tornam um obstáculo para a percolação da água;
- 3) Estrutura do solo e anisotropia: Aspectos como o tamanho dos poros, umidade de compactação e disposição das partículas conforme tipo de estrutura (simples, alveolar, floclada e dispersa) afetam diretamente a permeabilidade, uma vez que algumas apresentam maior facilidade de percolação do que outras;
- 4) Temperatura: A temperatura possui um valor inversamente proporcional à viscosidade da água. Considerando que quanto menor a viscosidade maior a facilidade com que a água percola pelo solo, terá uma maior permeabilidade aquele solo que esteja sob uma maior temperatura;
- 5) Granulometria: A rapidez com que o solo conduz a água por meio dos seus poros varia conforme o diâmetro das suas partículas, de forma que existem maneiras de definir o coeficiente de permeabilidade de acordo a granulometria do solo. Quanto maior o tamanho dos grãos e a uniformidade granulométrica, maior a permeabilidade.

O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado por três diferentes métodos, sendo eles:

- a) Ensaio de laboratório: Sendo os principais o permeâmetro de carga constante e o permeâmetro de carga variável. O permeâmetro de carga constante é aplicado em solos granulares ou com alta permeabilidade. Através da realização de uma experiência semelhante à de Darcy, se mede o volume de água percolada, com base na vazão conhecida e nas características geométricas, para se determinar o coeficiente por meio da lei de Darcy. Enquanto o permeâmetro de carga variável é utilizado quando se tem um coeficiente de permeabilidade muito baixo como em siltes e argila, se realiza o ensaio do permeâmetro realizando uma variação de carga hidráulica e se calcula o coeficiente (Pinto, 2006).
- b) Ensaio de campo: os ensaios em campo possibilitam encontrar o valor do coeficiente de permeabilidade com base na análise da velocidade com a qual a água se infiltra

no solo e possuem uma margem de erro menor por serem realizados em loco, mantendo as características naturais do solo em loco (Fernandes, 2017). Alguns dos ensaios em campo mais utilizados são os ensaios de infiltrômetro de anel, ensaios em furo de sondagem, ensaios em cava de infiltração e permeâmetro de Guelph. Para cada um dos ensaios citados, existem equações que relacionam os parâmetros observados em campo a fim de determinar o coeficiente investigado.

- c) Métodos indiretos: Pode se utilizar resultado de ensaios como o de adensamento e relacionar os resultados, visto que a velocidade de recalque do solo depende da velocidade com que a água sai dos vazios (Pinto, 2006).

Os valores mais comuns para o coeficiente de permeabilidade podem ser visualizados em ordem crescente na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores comuns para coeficientes de permeabilidade

Tipos de solo	Coeficiente de permeabilidade
Argilas	$10^{-9}$ a $10^{-6}$ cm/s
Silte ou silte arenoso	$10^{-6}$ a $10^{-4}$ cm/s
Areias argilosas	$10^{-6}$ a $10^{-4}$ cm/s
Areias siltosas ou finas	$10^{-5}$ a $10^{-3}$ cm/s
Areias bem selecionadas	$10^{-3}$ a $10^{-1}$ cm/s
Cascalho	$10^{-2}$ a $10^0$ cm/s

Fonte: Feitosa (2008)

Para a implantação de trincheiras de infiltração é indicado que os solos das camadas superiores tenham uma boa permeabilidade e conseqüentemente uma boa taxa de infiltração. Diversos autores estudaram os limites máximos e mínimos de condutividade hidráulica ideais para que o sistema funcione corretamente, porém, não existe um consenso de valor para ser utilizado. Na tabela 2 são apresentados os valores mínimos apontados por alguns autores.

Tabela 2 - Taxas de infiltração mínimas para a implantação de trincheiras de infiltração

TAXA DE INFILTRAÇÃO (mm/h)	FONTE
8,0	Urbonas e Stahre (1993)
13,0	United State Environmental Protection Agency (1999)
13,2	Maryland Department of the Environment (2009)
21,6	Stormwater Management Manual for Western Washington (2014a)

Fonte: Melo *et al.*, (2016)

O valor mínimo deve ser considerado para que a infiltração não seja prejudicada por solos com capacidade de drenagem muito baixa, ao passo que um valor muito alto não

permite que a trincheira sirva de filtros para poluentes, sendo necessários considerar um valor máximo para quando se espera que essa seja uma das funções da estrutura (Souza, 2002).

### **3.5 Ensaio de campo para determinação da permeabilidade**

Existem diversas maneiras de se determinar a permeabilidade de um solo, entre estes estão os ensaios de campo que permitem avaliar *in situ* o processo de infiltração da água do solo e obter fatores como o coeficiente de permeabilidade. Alguns dos ensaios mais comuns de serem feitos em campo com esse objetivo são o infiltrômetro de anel, ensaios em furo de sondagem, permeâmetro de Guelph, entre outros.

O ensaio de infiltrômetro de anéis concêntricos é um dos principais ensaios de avaliação da permeabilidade do solo em campo. A sua execução consiste em criar uma lâmina de água em dois anéis concêntricos cravados no solo e medir a velocidade com qual a água infiltra no solo até que a vazão seja constante, ou seja, quando o nível de água medido no cilindro interno se repetir pelo menos quatro vezes (Mahler e Aguiar, 2001). Utilizando os valores de variação do nível da água ao decorrer do tempo é possível calcular o coeficiente de permeabilidade e a taxa de infiltração no solo.

Outro ensaio bastante utilizado é o ensaio de infiltração em furos de sondagem. Segundo Fernandes (2017), existem limitações na execução desse ensaio devido ao tipo de carga que varia conforme o tipo de solo (variável para solos finos e constante para solos grossos) e as características do furo realizado para sondagem (paredes estáveis ou não). A execução desse ensaio consiste em encher o furo com água até o limite da superfície e monitora-se o tempo e volume de infiltração.

O permeâmetro de Guelph também avalia a permeabilidade em campo e é recomendado para solos saturados, acima do nível d'água e em solos homogêneos, rígidos e isotrópicos (Aguiar, 2001). O equipamento é eficiente para coeficientes entre  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$  cm/s e consiste em manter uma lâmina de água em um furo por meio de uma garrafa Mariotte que, devido à pressão gerada pela entrada de bolhas de ar na mesma, libera água cada vez em que a lâmina se rebaixa (Fernandes, 2007). Em intervalos de tempo constantes são realizadas leituras na régua do equipamento para identificar o volume de água infiltrada para posterior análise da permeabilidade.

Conforme estudo realizado por Ferraz (2015) com resultados de ensaios de infiltração (Slug Test e ensaio de infiltração em sondagem) e sondagens a percussão executadas no SENAC Campus Santo Amaro na zona Sul do município de São Paulo. Observou-se que

para a camada de solo ensaiada classificada como areia siltosa e areia silto argilosa existe uma permeabilidade entre  $10^{-5}$  e  $10^{-4}$  cm/s. Os valores encontrados condizem com as condutividades apresentadas por Feitosa et al. (2008) para o tipo de solo analisado, que são solos que podem apresentar altos valores de porosidade e conseqüentemente, boa capacidade de drenagem.

Macêdo (2020) também realizou o estudo de permeabilidade de solos com base em ensaios de infiltração. A determinação do coeficiente foi realizada por meio do método Beerkan que utiliza o ensaio de infiltrômetro de anel simples em conjunto com ensaios de laboratório para avaliar o solo e foi executado no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Campus Recife no litoral do estado de Pernambuco. Pelo ensaio de granulometria constatou-se que foi analisado um solo franco arenoso com permeabilidade por volta de  $10^{-2}$  cm/s, o que condiz com os valores teóricos analisados. Foram estudados diferentes pontos com o mesmo tipo de solo mas notou-se que a porosidade é variável devido ao nível de compactação do solo, devido aos valores entre 35 e 39% apresentados. Apesar da variação de porosidade, o solo apresenta uma boa permeabilidade.

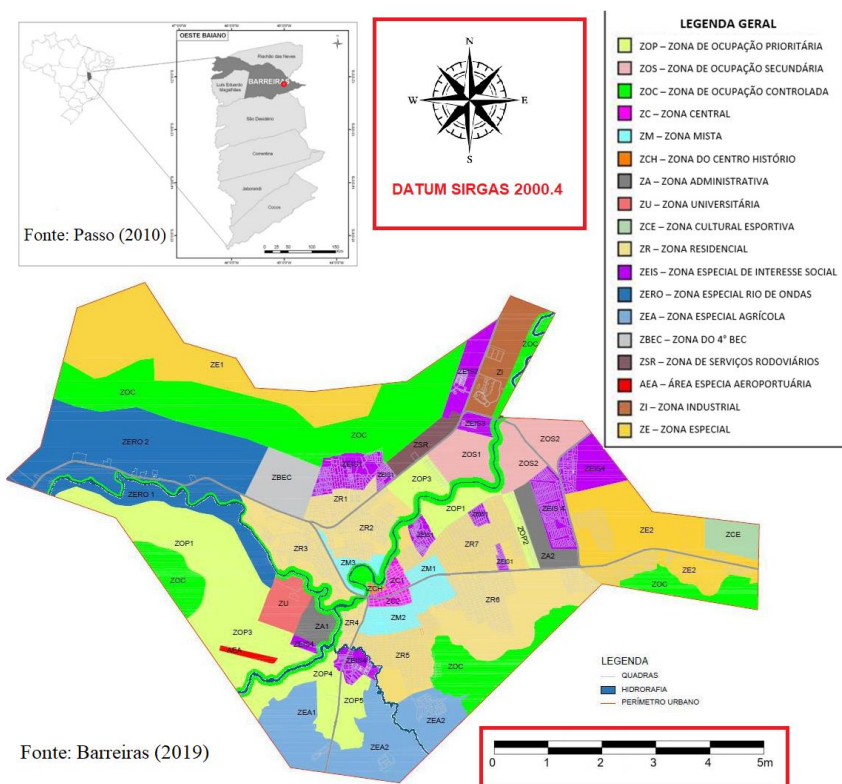
Conforme os estudos e a tabela de condutividade hidráulica (permeabilidade) apresentados, pode-se verificar que os solos com maiores permeabilidades tendem a ser os que apresentam grãos e porosidade maiores. Esses solos possuem, conseqüentemente melhor capacidade de drenagem sendo mais indicados para utilizações em que busquem tal característica como é o caso das trincheiras de infiltração.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Generalidades da área de estudo**

A área de estudo se trata do perímetro urbano do município de Barreiras (Figura 4) localizada na região oeste do estado da Bahia, Brasil. Nesta região, há uma grande variação de solo e clima, favorecendo a ocorrência de diversos tipos de vegetação e com solos como latossolos amarelo e vermelho-amarelo e neossolos quartzarênicos (Batisttela, 2002), conforme será detalhado na sequência.

Figura 4 – Zoneamento do uso e ocupação do solo e localização do perímetro urbano de Barreiras, Oeste da Bahia.



Fonte: Passo (2010) e Barreiras (2019)

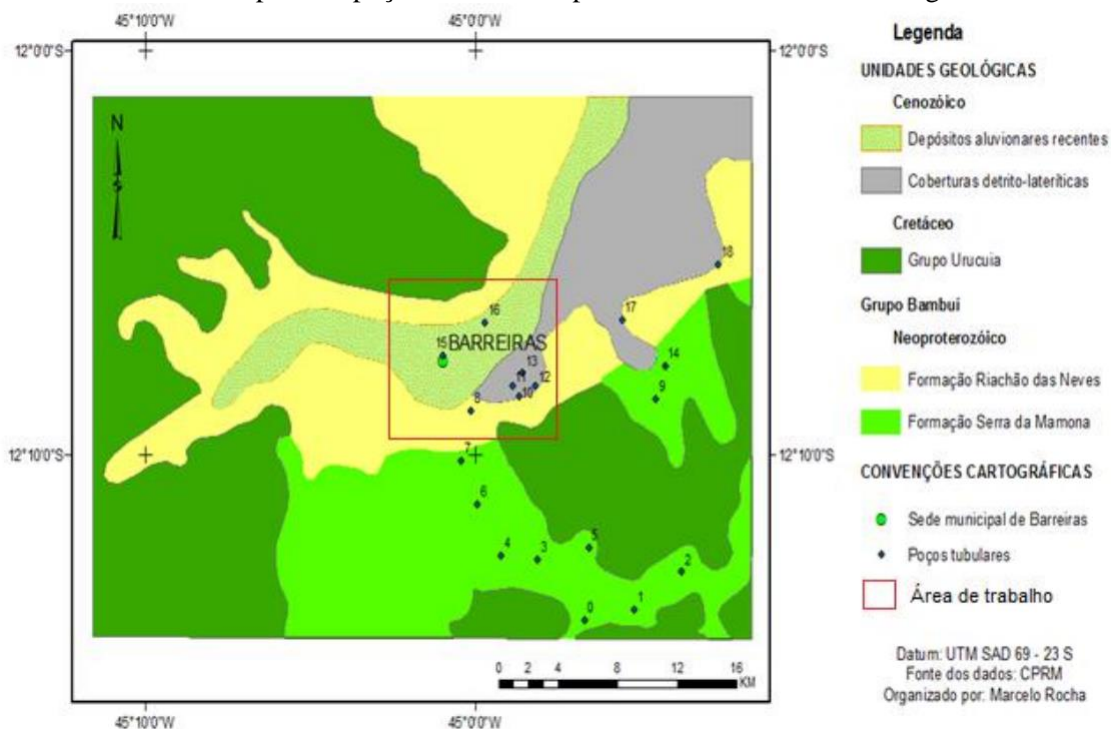
Entre outros fatores, devido à presença de muitas áreas planas, a região do Oeste baiano se tornou atrativa para o agronegócio, o qual deu início a atividades agrícolas por volta do final da década de 1970, promovendo o crescimento da população local e, conseqüentemente, do desenvolvimento territorial e econômico (AIBA, 2021). Dentre os municípios da região Oeste da Bahia, Barreiras é o mais populoso que conta com uma população atual de 159.743 pessoas (IBGE, 2022). O crescimento da cidade de Barreiras se deu inicialmente pela ocupação das áreas próximas ao rio Grande e de rodovias, se desenvolvendo em várias regiões conforme a limitação geomorfológica e fundiária (Nascimento, 2016). Por volta da década de 80, o crescimento do município se intensificou, acelerando o processo de urbanização devido à sua localização e da popularização da agricultura mecanizada (Elias, 2007).

Conforme dados obtidos por meio do INMET (2020), as temperaturas médias da região variam entre 21,9°C e 26,4°C (Estação Barreiras 83236) além de apresentar um baixo volume de chuvas devido principalmente à grande extensão territorial local. A cidade em questão sofre constantemente com alagamentos pela retenção da água pluvial, sendo que as principais causas para esse transtorno englobam as condições topográficas locais e a ineficiência dos sistemas de drenagem existentes (Silva, 2013).

### 4.1.1 Geologia e pedologia

A geologia da cidade de Barreiras é predominantemente formada por rochas do Grupo Urucuia que representa 86,8% do seu território, o qual é constituída por arenitos, pelitos e arenitos conglomeráticos, seguido de depósitos aluvionares (4%), coberturas detrito-laterítica, Formação Três Marias e Formação Serra da Saudade, Figura 5 (EGYDIO-SILVA, 1987) (Passo, 2010; IBGE, 2024). Detalhadamente, o grupo Urucuia que representa a principal formação geológica do município de Barreiras é composto de sedimentos que possuem conglomerados de arenitos que variam de finos a médios, siltitos e argilitos, e podem atingir até 400 metros de espessura (Neto, 2005).

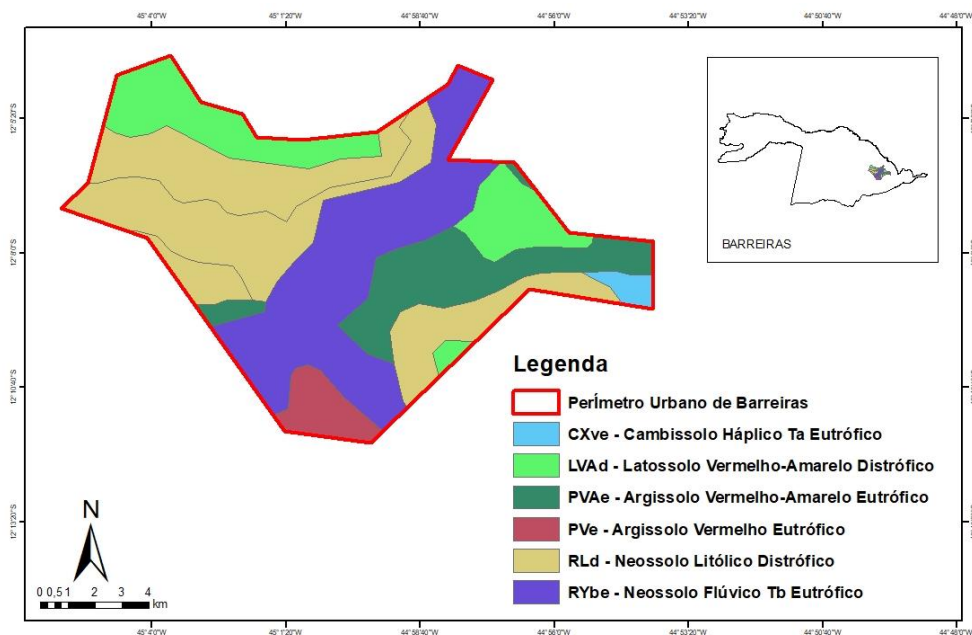
Figura 5 – Mapa geológico regional do entorno da cidade de Barreiras com a localização da sede municipal e os poços cadastrados pelo SIAGAS da CPRM na região.



Fonte: Rocha (2015)

Os solos da cidade de Barreiras possuem de modo geral, uma textura arenosa e baixo teor de argila. Dentro do perímetro urbano do município é possível encontrar 6 grupos de solo, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Pedologia do perímetro urbano de Barreiras



Fonte: IBGE (2024)

Os principais tipos de solos na cidade de Barreiras são:

- 1) Cambissolo: ocorre nas bordas dissecadas proveniente do recuo das chapadas (constituídas por arenitos) e nos vales (originados de rochas calcárias). São solos pouco profundos que ocupam relevos suaves a fortes ondulados, por vezes pedregosos e rochosos, com pouca capacidade de armazenamento de água em períodos secos (PSSB, 2010);
- 2) Latossolo vermelho-amarelo: ocupa mais que 75% da área da cidade e é caracterizado por ser um solo poroso de boa permeabilidade, com estrutura granular e boas condições de drenagem por ser pouco adensado. Esse ocorre principalmente em relevos planos e suavemente ondulados (PSSB, 2010);
- 3) Argissolo (Podzólico) vermelho-amarelo e/ou vermelho: são encontrados apenas em trechos ao longo do vale do rio Grande onde os relevos são ondulados ou suavemente ondulados. São solos profundos e de material poroso, com textura predominantemente média / argilosa, e com drenagem variando de moderada a boa (PSSB, 2010);
- 4) Neossolo litólicos: são solos pouco desenvolvidos e de pouca profundidade, por vezes são compostos de pedregulhos e cascalhos. Ocorrem nas bordas dissecadas das chapadas onde há relevo ondulado, forte ondulado e escarpado, e possuem como substrato os arenitos da formação Urucuia (PSSB, 2010);

- 5) Neossolo flúvico (Aluviais): são solos profundos e pouco desenvolvidos derivados de sedimentos fluviais (PSSB, 2010).

#### 4.1.2 Clima

O regime climático da área de estudo varia de clima úmido a sub-úmido e de clima seco a sub-úmido, com duas estações bem definidas sendo: uma seca e fria de ocorrência entre os meses de maio a setembro e outra chuvosa e quente entre os meses de outubro a abril (Batisttela, 2002). Conforme Almeida et al. (2017), o clima da cidade de Barreiras é do tipo Aw conforme classificação de Köppen, apresentando um clima de savana com um inverno seco e com temperaturas superiores a 22°C, com grandes períodos de seca e curtas estações chuvosas. Com base em dados obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) de uma estação meteorológica convencional, Almeida et al. (2017) realizou uma estimativa da chuva efetiva para o município de Barreiras. Resumidamente, a chuva efetiva se trata da quantidade de água escoada superficialmente após a saturação do solo posteriormente a precipitação (Jabur, 2010). Na Tabela 3 é possível visualizar a precipitação pluviométrica média para cada mês no município estudado, conforme dados coletados da estação Barreiras 83236.

Tabela 3 – Normais climatológicas (mm) para Barreiras-BA de 1991 a 2020 da estação Barreiras 83236 (Coordenadas: -12.155833, -45.008333)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitação Pluviométrica (mm)											
172,2	135,1	150,5	71,6	18,3	2,7	0,6	1,5	10,1	57,2	169,0	186,2

Fonte: Modificado de INMET (2024).

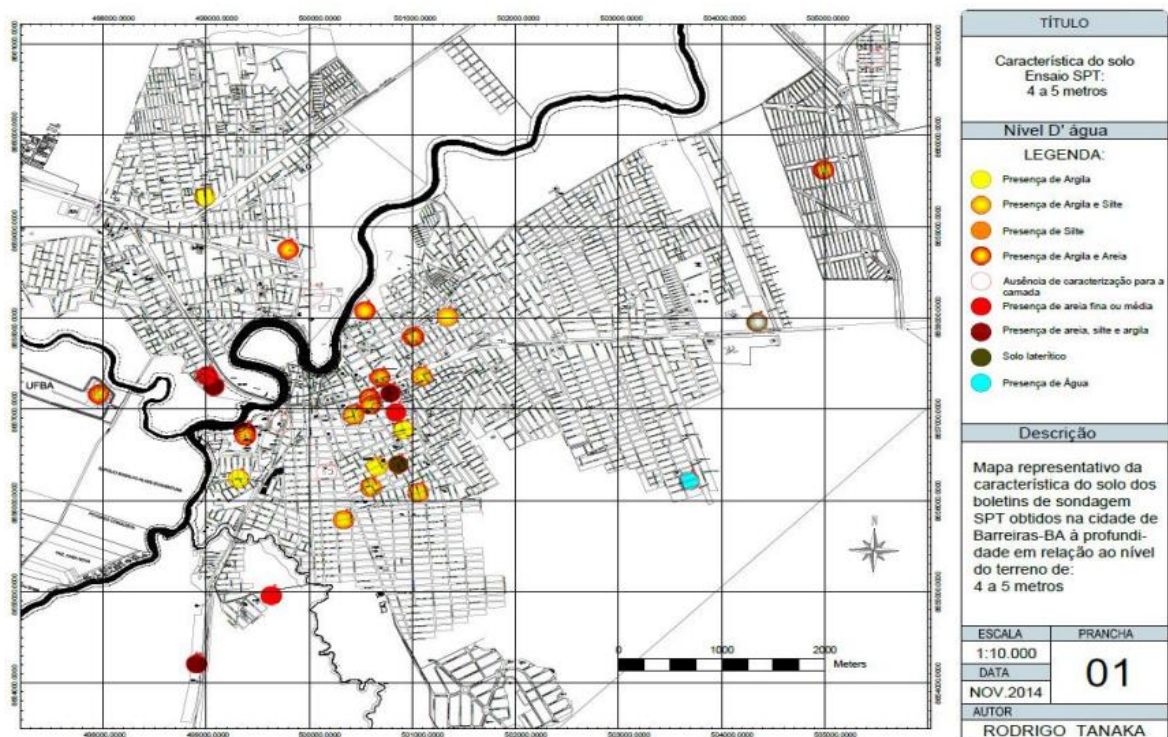
Assim, observa-se grande irregularidade nas precipitações no município de Barreiras, havendo a ocorrência de um grande período de estiagem e uma concentração dos maiores volumes de precipitação em poucos meses do ano.

#### 4.2 Levantamento e tabulação de dados obtidos via ensaios SPT

Tendo como base os ensaios *Standard Penetration Test* (SPT) obtidos no trabalho de Tanaka (2015) os principais tipos de solos para uma profundidade de 4 à 5 metros que podem ser encontrados na zona urbana do município de Barreiras são: solos argilosos, siltosos, areia fina ou média e solos lateríticos (Figura 7). Dentre esses solos, espera-se que os solos de maior capacidade de infiltração e maior permeabilidade sejam os solos granulares (arenosos e pedregulhosos). No entanto, a delimitação dessas áreas ainda é escassa na literatura. Nesse sentido, fez-se necessário inicialmente, realizar um levantamento dos tipos de solos com base

em ensaios SPT previamente realizados na cidade. Um dos ensaios mais comumente realizados na engenharia para caracterização de solo é o ensaio SPT. O SPT é um ensaio de penetração dinâmica onde é cravado um amostrador a cada 1 metro de profundidade por meio de golpes de um martelo em queda livre com peso e altura padrão de 65 kg e 75 cm, respectivamente. O ensaio fornece informações quanto à granulometria do solo, profundidade do nível d'água, e resistência a penetração que é medido pelo número de golpes necessários para perfurar o solo nos últimos 30 cm ( $N_{SPT}$ ) (Campos, 2015).

Figura 7 - Mapeamento de caracterização do solo à profundidade de 4 a 5 metros para o perímetro urbano de Barreiras



Fonte: Tanaka (2015)

Com base em resultados de ensaios SPT realizados por duas empresas de sondagem que atuam no município foi catalogado em planilha os seguintes dados referentes a cada um dos pontos de sondagem disponíveis: o endereço, as coordenadas planas no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) (quando disponíveis), o nível de profundidade da água e a textura de solo encontrado para diferentes profundidades.

Os resultados de SPTs foram analisados e selecionou-se para o trabalho somente aqueles que se localizavam no perímetro urbano de Barreiras que se trata da área de interesse do estudo e que possuíam dados suficientes como, por exemplo, endereço que permitisse identificar sua localização ou coordenadas geográficas.

### **4.3 Elaboração de um banco de dados georreferenciado e aplicação de técnicas de geoprocessamento para o mapeamento das texturas dos solos**

Após o levantamento e tabulação dos resultados de ensaios SPTs disponíveis foi necessário realizar uma etapa de geocodificação, que resultou na conversão de endereços em coordenadas geográficas (latitude e longitude). Esta etapa foi realizada apenas para aqueles pontos SPT que não continham a informação pontual de localização geográfica. Esses dados foram posteriormente convertidos para o sistema UTM na zona 23 sul e no datum SIRGAS 2000 para compatibilização com os demais pontos e integrados a uma única base de dados geográfica. Para geocodificação dos pontos utilizou-se o plugin eZGeocode baseado em planilhas Excel, enquanto que para a elaboração do banco de dados georreferenciado utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS.

Os dados de SPT tabulados foram analisados com o objetivo de identificar a textura de solo predominante em cada ponto estudado e a partir disso realizar uma classificação por grades por meio do SIG ArcGis. Foram desconsiderados dessa análise pontos e dados inconsistentes ou que apresentavam camadas de materiais diferentes de solo como por exemplo, rocha, camada vegetal ou amostras impenetráveis, para que a análise pudesse ocorrer de forma eficiente.

A distribuição dos pontos SPT para o perímetro urbano de Barreiras é irregular, com vários agrupamentos (*clusters*) e vazios pontuais, o que dificulta a aplicação de métodos de interpolação, por produzir superfícies que não correspondem com a realidade. Por esta razão, seguiu a estratégia de espacializar as texturas dos solos provenientes das amostras SPT com base na análise de grades. Grades são entendidas aqui como feições vetoriais contendo uma rede de células de mesmo tamanho e regularmente distribuídas no espaço geográfico. Inicialmente, estabeleceu uma nova coluna na tabela de atributos dos dados vetoriais de amostras SPT, que recebeu a informação de textura do solo predominante para cada ponto. Posteriormente, realizou-se um cruzamento entre a informação textural das amostras SPT com o arquivo de grades. Análises prévias revelaram que o arquivo de grades com o tamanho de 500 x 500 m foi o mais apropriado para a realização desta análise. Finalmente, a distribuição espacial das texturas dos solos para o perímetro urbano de Barreiras foi estimada com base no cálculo da textura mais frequente que ocorreu em cada grade individualmente.

### **4.4 Ensaios de campo**

Com base no levantamento e análise dos resultados obtidos por meio dos ensaios SPT já executados anteriormente por empresas de sondagens da região, a superfície produzida

com base na análise de grades descrita no tópico anterior foi analisada como base para escolha de locais para a realização do ensaio de infiltrômetro de anéis concêntricos. Esta escolha foi realizada com base na predominância de solos com maior permeabilidade (preferência por solos arenosos). Foram selecionados quatro pontos em diferentes bairros sendo eles: Parque das Águas, Parque da Cidade, Barreirinhas e Recanto dos Pássaros.

#### 4.4.1 Ensaio de infiltrômetro de anéis concêntricos

O ensaio de infiltrômetro de anel é utilizado para determinar a taxa de infiltração de água e o coeficiente de permeabilidade do solo. A execução do ensaio consiste em cravar no solo, com o auxílio de uma madeira e uma marreta de borracha, dois anéis concêntricos de forma nivelada até metade da sua altura (Figura 8). Os anéis podem ter diferentes dimensões, de acordo a necessidade do ensaio, desde que o externo possua o dobro do diâmetro do anel interno. Para o presente estudo foram utilizados anéis de 25 cm e 50 cm de diâmetro e 30 cm de altura.

Figura 8 - Anéis concêntricos cravados para ensaio de infiltrômetro de anel



Fonte: Autora (2024)

Para o método tradicional, fixa-se uma régua no cilindro interno para medição da lâmina d'água e coloca-se água no interior dos dois anéis (Figura 9). Deve-se medir com o auxílio da régua fixada, a infiltração vertical no cilindro interno em diferentes intervalos de tempo e mantendo o nível de água constante com recarga de volumes conhecidos (Fernandes, 2017). Entretanto, neste trabalho foi utilizado um sistema semiautomático de alimentação desenvolvido por Silva *et al.*, (2019), que consiste em dois reservatórios

conectados por meio de mangueiras a duas válvulas de boia que são acopladas individualmente em cada anel para controlar a vazão (Figura 10). O reservatório ligado ao anel interno possui uma graduação (Figura 11) que permite fazer a leitura do seu nível de água para que seja calculada posteriormente, a infiltração do solo.

Figura 9 - Ensaio de infiltrômetro de anel convencional



Fonte: Gondim *et al.*, (2010)

Figura 10 – Sistema semiautomático para ensaio de infiltrômetro de anel



Fonte: Autora (2024)

Figura 11 – Reservatório conectado ao anel interno



Fonte: Autora (2024)

O tempo de leitura foi iniciado em 0 minutos e variou inicialmente com intervalos de 1 minuto, que foram aumentados conforme a velocidade de infiltração. Além disso, as leituras devem ser realizadas até que a infiltração no anel interno se estabilize, considera-se estabilizado quando há repetição de três leituras repetidas de taxa de infiltração.

Os ensaios foram realizados com o objetivo de determinar a taxa de infiltração estável (TIE) do solo que se trata da lâmina máxima de água que o solo pode absorver até alcançar a sua saturação, ou seja, ela representa a capacidade de infiltração do solo quando está sob determinada umidade (Souza et al., 2008). A TIE é obtida por meio do coeficiente angular da reta que tende a se formar quando a infiltração do solo se torna estável para isso foram obtidos gráficos individuais da infiltração de cada ensaio realizado.

É importante ressaltar que as taxas de infiltração encontradas por meio desse ensaio tendem a ser superestimadas visto que não se simula as gotas de água da chuva e a lâmina de água fica sobre uma superfície que foi deformada pela cravação dos anéis.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

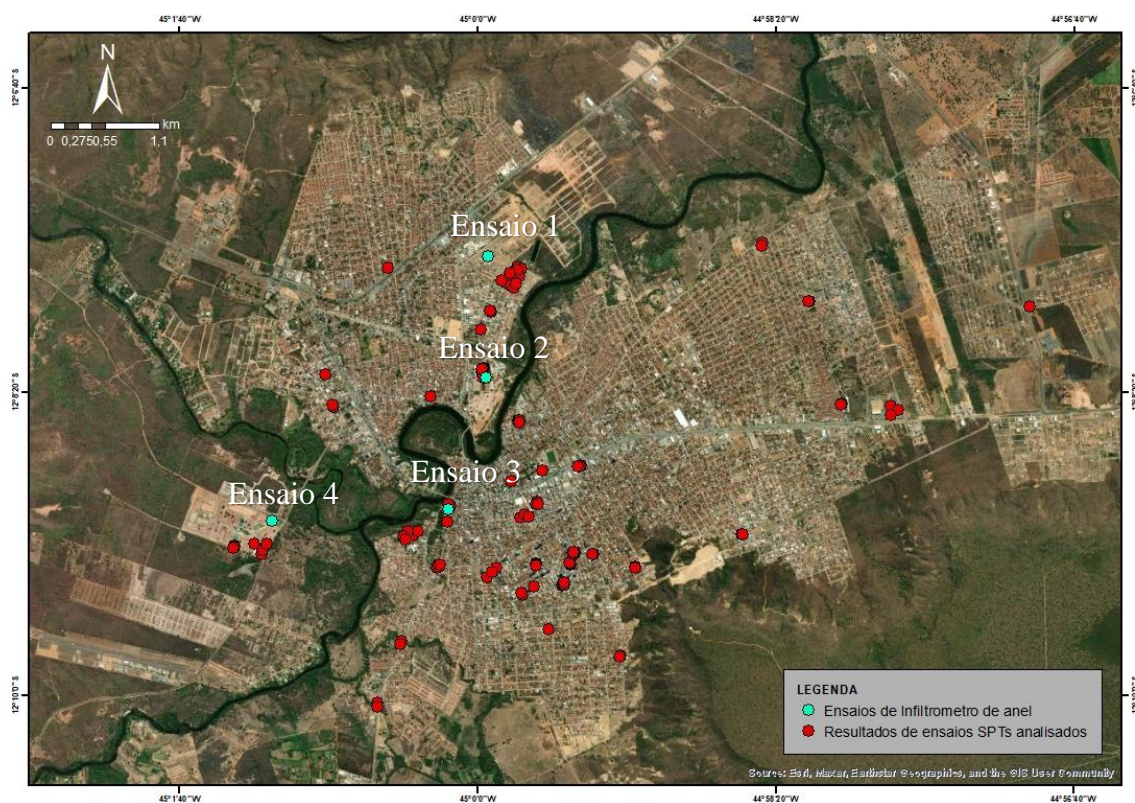
### **5.1 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS SPT TABULADOS**

Os boletins de ensaios SPT avaliados apresentaram diversos dados como endereço, coordenadas geográficas (em alguns casos), cotas do furo, número de golpes/penetração, gráfico com o número de golpes x profundidade, textura do solo e profundidade do nível

d'água. Para o estudo foram utilizados os dados de endereço e coordenadas geográficas, textura do solo e profundidade do nível d'água (metros).

Os pontos foram georreferenciados e espacializados sob o perímetro urbano da cidade juntamente com os locais onde foram realizados os ensaios de infiltrômetro de anel (Figura 12).

Figura 12 – Espacialização dos pontos de ensaio SPT catalogados e de infiltrômetro de anel realizados



Fonte: Autora (2024)

Dentre os 21 bairros estudados foram identificados principalmente texturas de solos argilosos, siltosos e arenosos, havendo a ocorrência em menor quantidade de alguns tipos de cascalho e rochas. As principais texturas encontradas se dividem nos seguintes grupos:

- a) Texturas arenosas:
  - Areia fina, média e grossa;
  - Areia argilosa;
  - Areia siltosa;
  - Areia silto argilosa.
- b) Texturas argilosas:
  - Argila;
  - Argila arenosa;
  - Argila siltosa;

- Argila silto arenosa;
  - Argilito.
- c) Texturas siltosas:
- Silte arenoso;
  - Silte argiloso;
  - Laterito siltoso;
  - Siltito.

Os níveis de água apresentaram grande variação mesmo dentro de um único bairro, porém apresentando maior proximidade a superfície em localizações majoritariamente próximos a cursos d'água como é o caso dos bairros Centro, Morada Nobre, Parque da Cidade, Recanto dos Pássaros e Santa Luzia (Tabela 4). Em alguns bairros não foi notado presença de água até a profundidade máxima de perfuração do ensaio, esses tiveram a faixa de profundidade do nível d'água estudado considerada como "seco". A faixa de profundidade varia consideravelmente na cidade e nos bairros. Essa profundidade máxima de cravação do amostrador padrão pode estar relacionada a resistência do terreno que não permite continuação do ensaio, ou ainda devido a uma escolha projetista em limitar a profundidade de ensaio para diminuir custos.

Tabela 4 - Dados analisados para cada bairro estudado

<b>BAIRRO</b>	<b>QTD DE FUROS</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>FAIXA DE PROFUNDIDADE E DO ENSAIO (m)</b>	<b>FAIXA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)</b>
<b>Aratu</b>	1	Silte argiloso Silte arenoso	7,07	Seco
<b>Bandeirantes</b>	2	Silte argiloso	8,10 a 8,25	Seco
<b>Barreirinhas</b>	11	Cascalho Silte arenoso Areia siltosa Areia grossa Argila Areia média	7,52 a 10,50	0,83 a 4,37
<b>Centro</b>	18	Areia siltosa Argila arenosa Silte arenoso Areia argilosa Areia fina Argila siltosa Silte argiloso Areia grossa	3,00 a 15,08	0,95 a 11,0
<b>Jardim Imperial</b>	3	Argila Argilito	0,50 a 0,70	Seco

<b>Juscelino Kubistcheck</b>	1	Silte arenoso	10,10	Seco
<b>Mimoso</b>	3	Argila arenosa Laterito siltoso	0,78 a 6,00	Seco
<b>Morada da Lua</b>	3	Argila Areia fina Argila siltosa Areia média	4,13 a 10,00	3,6 a 5,61
<b>Morada Nobre</b>	5	Silte arenoso Argila silto arenosa Areia média a grossa Areia siltosa Argila siltosa	4,00 a 10,00	0,95 a 10,0
<b>Park Verde</b>	4	Argila siltosa Argila Argilito Argila silto arenosa Siltito	3,30 a 7,10	Seco
<b>Parque das águas</b>	7	Silte arenoso Areia fina a média Argila arenosa Areia silto argilosa Areia siltosa	2,50 a 9,00	5,45 a 9,00
<b>Parque da Cidade</b>	18	Areia argilosa Areia fina Argila Argila arenosa Cascalho de arenito Areia siltosa Silte argiloso	7,80 a 10,10	1,50 a 9,10
<b>Recanto dos pássaros</b>	15	Argila siltosa Areia fina a média Areia argilosa Argila Argila arenosa Areia grossa	3,00 a 10,0	0,98 a 5,20
<b>Renato Gonçalves</b>	22	Silte argiloso Areia argilosa Areia silto argilosa Argila siltosa Rocha sedimentar com argila Silte arenoso Argilito Argila arenosa	3,27 a 15,15	0,60 a 9,13
<b>Ribeirão</b>	4	Argila siltosa Argilito	0,73 a 3,00	Seco
<b>Sandra Regina</b>	2	Argila arenosa	4,5 a 4,7	Seco

<b>Santa Luzia</b>	2	Argila siltosa Areia siltosa	7,82 a 9,45	0,70 a 0,95
<b>Sombra da Tarde</b>	3	Argila arenosa Areia fina	8,00 a 13,0	Seco
<b>Vila Dulce</b>	3	Argila silto arenosa Areia siltosa Argila siltosa Areia silto argilosa	6,67 a 7,51	Seco
<b>Vila Nova</b>	2	Silte argiloso Silte arenoso Argila siltosa	6,35 a 7,67	Seco
<b>Vila Rica</b>	3	Argila	5,00	0,97 a 1,00

Fonte: Autora (2024)

Por meio da tabela 4 e dos resultados analisados, o tipo de solo mais encontrado nos bairros analisados é a argila, ou seja, há uma predominância de partículas finas dentro do perímetro urbano da cidade, assim como foi constatado por Tanaka (2015). Segundo Pinto (2006), quanto menor as partículas do solo, como é o caso dos solos argilosos e siltosos, menores os vazios do solo disponíveis para passagem da água e conseqüentemente, menor a sua permeabilidade. No entanto, outros fatores também afetam a permeabilidade, como índice de vazios, estrutura, grau de saturação, temperatura e discontinuidades presentes no solo (Pinto, 2006).

Pela análise das profundidades, percebe-se que nos primeiros 6 metros predomina-se os grãos finos de textura argilosa e siltosa, podendo apresentar areia fina e siltosa a média em alguns pontos, enquanto nas demais profundidades há maior predominância de areias variadas (fina, média, grossa, siltosa e argilosa), como é visível na Tabela 5.

Tabela 5 - Texturas predominantes dos solos por profundidade

<b>Profundidade</b>	<b>Textura predominante</b>
<b>1 m</b>	Argila e silte
<b>2 m</b>	Argila e areia fina
<b>3 m</b>	Argila e areia siltosa
<b>4 m</b>	Argila, areia siltosa e silte argiloso
<b>5 m</b>	Argila e areia média a fina
<b>6 m</b>	Argila siltosa e areia média a fina
<b>7 m</b>	Areia variada, argila e silte arenoso
<b>8 m</b>	Areia variada e argila arenosa e siltosa
<b>9 m</b>	Areia variada e argila
<b>10 m</b>	Areia média a fina e argila

Fonte: Autora (2024)

Apesar de haver ensaios que alcançaram até 15 metros de profundidade, a partir de 10 metros a quantidade de amostras disponíveis para análise se torna demasiadamente escassa para se inferir a predominância de texturas.

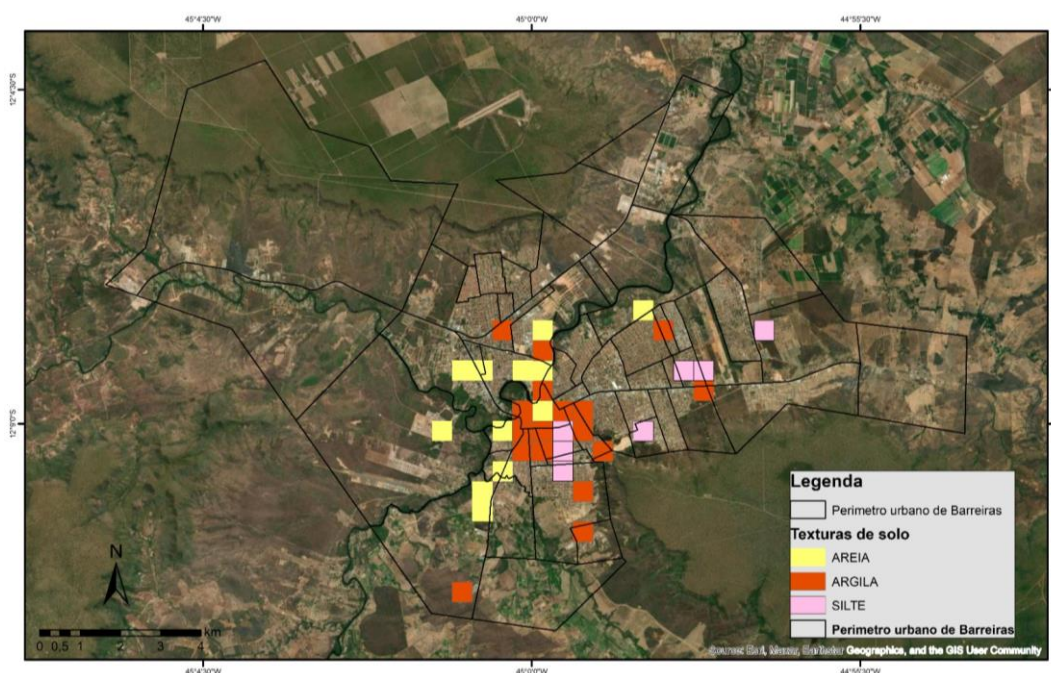
Além disso, a grande presença de textura arenosa nas últimas profundidades analisadas traz a possibilidade de implantação de estruturas de infiltração que atinjam maior profundidade.

## **5.2 MAPEAMENTO**

Os dados disponíveis estão concentrados em áreas próximas ao centro da cidade e no bairro Renato Gonçalves, Figura 13. A maior parte dos locais analisados no perímetro urbano do município de Barreiras são predominantemente de textura argilosa que apresenta características menos favoráveis para a implantação de trincheiras de infiltração. A maior concentração de argila está localizada nos bairros Centro e Vila Regina, podendo ser encontrada de forma isolada nos bairros Flamengo, Mimoso, Morada da Lua, Park Verde, Parque da Cidade, Sandra Regina, Santa Luzia e São Pedro. Apesar das camadas superiores serem de textura argilosa, foi identificado como apresentado na Tabela 5, que em maiores profundidades há predominância de textura arenosa o que indica a possibilidade de utilização de técnicas compensatórias que atuem em maior profundidade como é o caso dos poços de infiltração.

A textura encontrada em menor volume foi a de silte, estando presente de forma isolada nos bairros Bandeirantes, Cidade nova, Mimoso, Morada da Lua, Renato Gonçalves e Vila Regina. Enquanto foi observado uma maior quantidade de pontos onde a textura predominante é de areia, textura que tende a possuir características mais favoráveis a implantação das trincheiras de infiltração devido a características como, por exemplo, a permeabilidade (Figura 13).

Figura 13 – Análise de grades (500 x 500 m) das texturas de solos do perímetro urbano de Barreiras-BA



Fonte: Autora (2024)

Dessa forma, considerando a areia como textura de solo que proporcionará o funcionamento eficiente da estrutura de drenagem em questão, os bairros mais indicados para a implantação das trincheiras de infiltração são aqueles onde foram encontrados textura arenosa, sendo eles:

- 1) Barreirinhas;
- 2) Boa Sorte;
- 3) Centro nas proximidades da praça das corujas;
- 4) Loteamento São Paulo;
- 5) Morada Nobre;
- 6) Parque da cidade;
- 7) Parque das Águas;
- 8) Recanto dos Pássaros na vizinhança do Campus do IFBA Barreiras; e
- 9) Santa Luzia.

É possível notar na Figura 13 que os bairros com ocorrência de textura arenosa estão em localizações próximas a cursos de água. Um dos pontos mais conhecidos popularmente por enfrentar grandes alagamentos em época de chuva na cidade é o Centro, em especial na área próximo a feira de abastecimento da cidade, onde pela análise realizada possui a argila como sua textura principal, não sendo considerado indicada a implantação de trincheiras de infiltração. Além disso, fatores como a predominância de locais impermeabilizados e falta

de pontos públicos com espaço e nível adequados dificultam a possibilidade de implantação dessa estrutura no centro da cidade, porém é possível aplica-las em pontos acima do Centro para reduzir a vazão de água escoada superficialmente até os pontos de frequentes alagamentos.

Outro local que costuma sofrer com alagamentos é o bairro Loteamento São Paulo que foi abrangido em apenas uma pequena parte da análise e que também apresenta textura argilosa.

### **5.3 AVALIAÇÃO DO RESULTADOS DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO**

Os locais de realização dos ensaios de anéis concêntricos foram selecionados com base nos resultados de ensaios SPT apresentados anteriormente. Após a análise da textura de solo encontrada em cada profundidade estudada e da profundidade do nível de água, foram escolhidos resultados de ensaios SPT de referência onde havia predominância de solos que indiquem alta permeabilidade e locais próximos a esses pontos com fácil acesso a água para a realização do ensaio de infiltração. Os ensaios SPT utilizados como referência para os ensaios de infiltração foram escolhidos pelo critério de maior proximidade ao ponto escolhido para realizar os ensaios de infiltração. Realizou-se o ensaio em quatro pontos localizados em diferentes bairros como pode ser visualizado na Figura 12, sendo eles:

- Ensaio 1: Bairro Parque da Cidade
- Ensaio 2: Bairro Barreirinhas
- Ensaio 3: Bairro Recanto dos Pássaros
- Ensaio 4: Loteamento Parque das Águas

#### **5.3.1 Ensaio 1: Bairro Parque da Cidade**

A Tabela 6 apresenta os dados de referência para o bairro Parque da Cidade onde foi realizado o ensaio 1 e que apresenta um solo que se trata majoritariamente de areia siltosa fina.

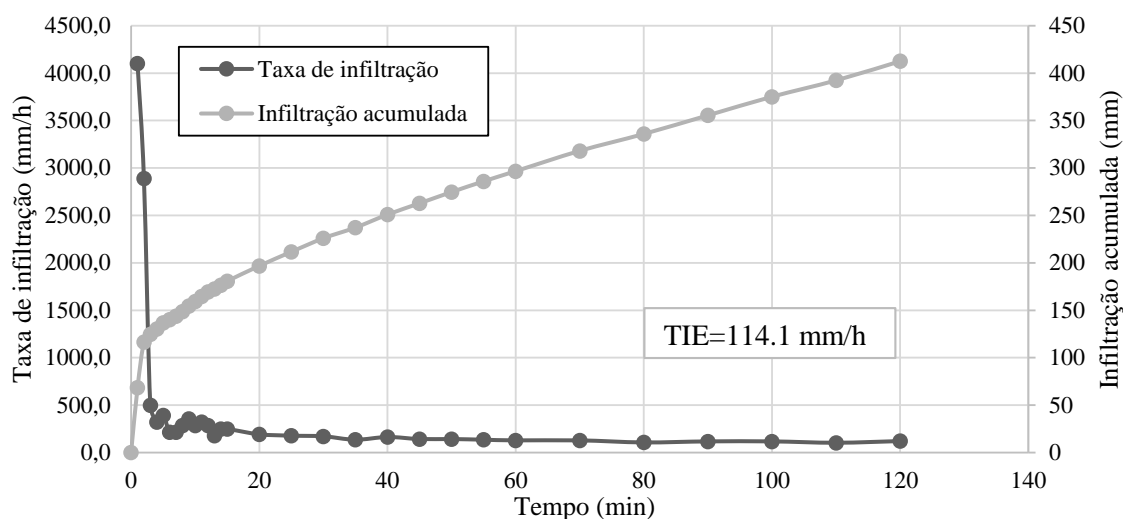
Com base no ensaio de infiltrômetro de anéis concêntricos realizados no bairro Parque da Cidade, cujos resultados estão apresentados na Figura 14, a estabilização da infiltração se deu com 80 minutos de execução de ensaio, obtendo uma alta TIE equivalente a uma taxa de infiltração de 114,1 mm/h. Esse valor equivale a uma permeabilidade de  $3,17 \times 10^{-3}$  cm/s, o que condiz com a faixa de permeabilidade para solos como areias siltosas ou finas (Feitosa, 2008).

Tabela 6 - Dados de referência para ensaio de infiltração 1 (Parque da Cidade)

BAIRRO	PROFUNDIDADE (m)	TEXTURAS DE SOLO	N.A. (m)
PARQUE DA CIDADE	1	AREIA-SILTOSA, FINA, LARANJA, MEDIANAMENTE COMPACTO	1,3
	2		
	3	AREIA-SILTOSA, FINA, MARROM, FOFO A MEDIANAMENTE COMPACTO	
	4		
	5		
	6		
	7		
	8	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	
	8,7		

Fonte: Autora (2024)

Figura 14 – Gráfico de infiltração 1 (Parque da Cidade)



Fonte: Autora (2024)

### 5.3.2 Ensaio 2: Bairro Barreirinhas

A Tabela 7 contém os dados para o bairro Barreirinhas, cujas camadas superficiais assim como as do bairro apresentado acima, são predominantemente de areia, porém apresentando característica siltosa que pode afetar consideravelmente a infiltração do solo.

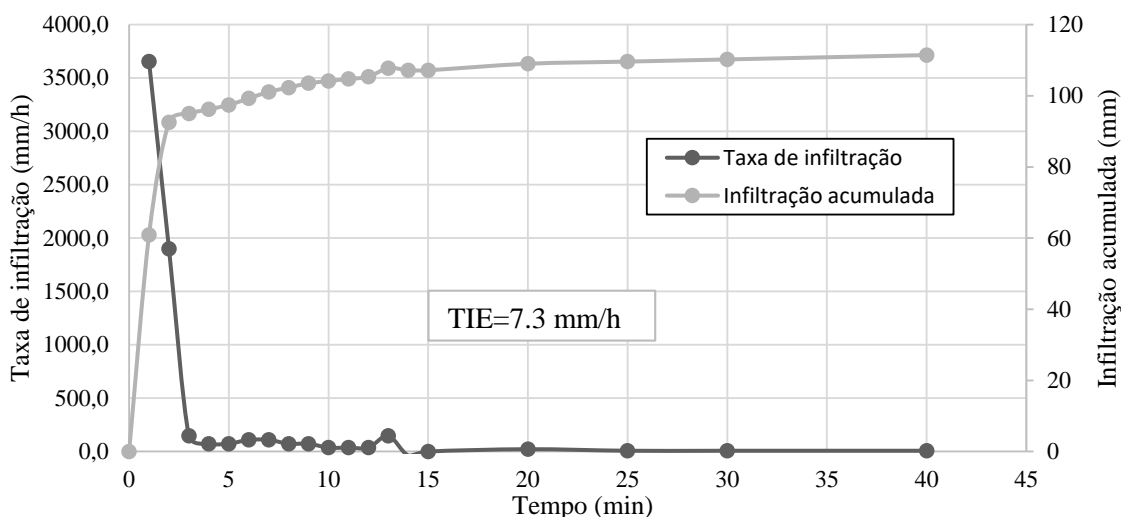
Conforme o resultado do ensaio de infiltração do bairro Barreirinhas apresentado na Figura 15, nota-se que por volta dos 20 minutos de ensaio se iniciou a estabilização da vazão infiltrada, apresentando uma baixa taxa de infiltração conforme Urbonas e Stahre (1993) que determina o valor mínimo para implantação de trincheiras como 8 mm/h.

Tabela 7 - Dados de referência para ensaio de infiltração 2 (Barreirinhas)

BAIRRO	PROFUNDIDADE (m)	TEXTURAS DE SOLO	N.A. (m)
BARREIRINHAS	1	AREIA-SILTOSA, FINA, MARROM, FOFO	1,2
	2	AREIA-SILTOSA, FINA, LARANJA, FOFO	
	3		
	4	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	
	5	ARGILA-SILTOSA, VARIEGADA, MÉDIO	
	6	AREIA-SILTOSA, MÉDIA, MARROM, POUCO COMPACTO	
	7	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	
8,6			

Fonte: Autora (2024)

Figura 15 – Gráfico de infiltração 2 (Barreirinhas)



Fonte: Autora (2024)

O coeficiente de permeabilidade do solo neste bairro foi de  $2,03 \times 10^{-4}$  cm/s. Este valor está condizente com o valor encontrado na Tabela 1 para esse tipo de solo observado no ensaio SPT próximo. A estabilização nos poucos minutos de ensaio e a baixa taxa de infiltração pode indicar a baixa permeabilidade do solo devido à grande presença de finos ou um alto grau de compactação visto que o local fica entre uma obra e uma estrada com tráfego de grandes veículos como, por exemplo, caminhões.

### 5.3.3 Ensaio 3: Bairro Recanto dos Pássaros

Na Tabela 8 é possível visualizar as características do local de referência utilizado no bairro Recanto dos Pássaros que devido à alta concentração de areia fina tende a apresentar índices de permeabilidade de médio a alto e conseqüentemente, boa infiltração. Na Figura 16 é apresentado os resultados obtidos para o ensaio realizado no bairro Recanto

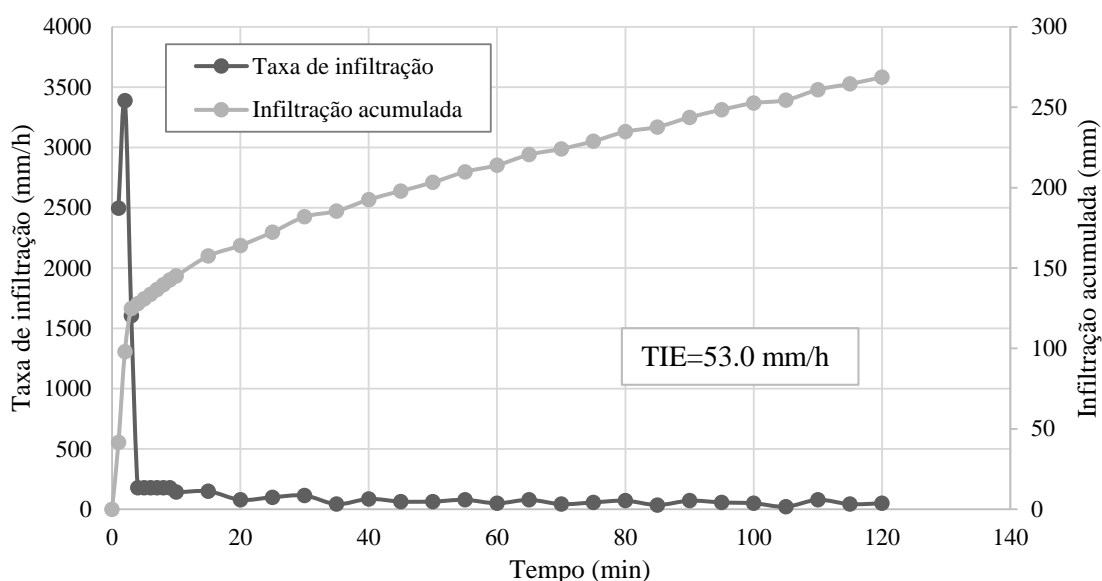
dos Pássaros cuja estabilidade de infiltração do solo iniciou após 70 minutos de ensaio e foi obtida uma boa TIE que condiz a uma lâmina média de infiltração de 53 mm/h. Com base na taxa de infiltração calculada para o ensaio 3 foi obtido um coeficiente de permeabilidade de  $1,47 \times 10^{-3}$  cm/s. De acordo com a classificação feita por Feitosa (2008) este valor de permeabilidade é típico de areias siltsas ou finas ou bem selecionadas, que corresponde ao tipo de solo encontrados no resultado de ensaio SPT utilizado como referência.

Tabela 8 - Dados de referência para o ensaio de infiltração 3 (Recanto dos Pássaros)

BAIRRO	PROFUNDIDADE (m)	TEXTURAS DE SOLO	N.A. (m)
RECANTO DOS PÁSSAROS	1	ATERRO DIVERSO	0,98
	2		
	3		
	4	AREIA FINA	
	5		
	6	AREIA FINA COMPACTA	

Fonte: Autora (2024)

Figura 16 – Gráfico de infiltração 3 (Recanto dos Pássaros)

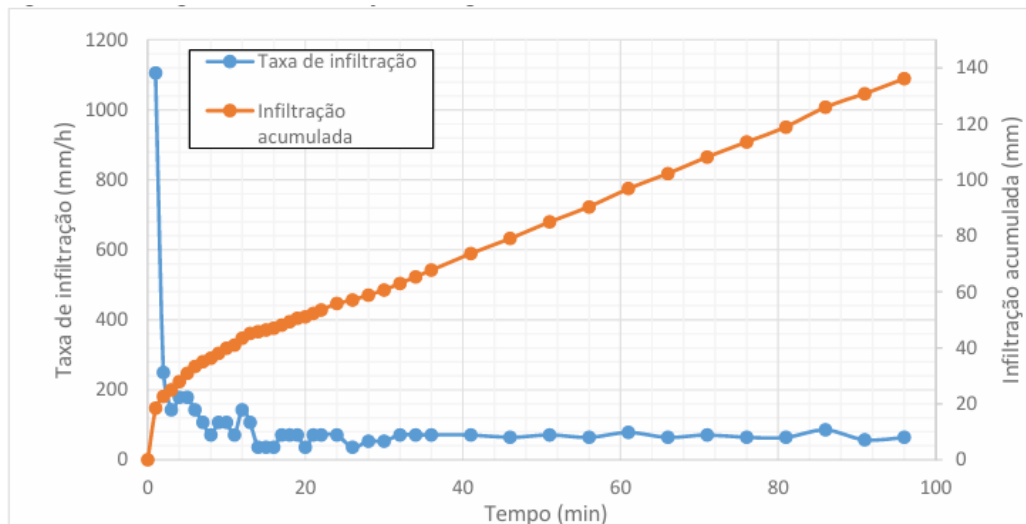


Fonte: Autora (2024)

O ensaio 3 apresentou um comportamento semelhante ao encontrado por Souza (2017) cujo ensaio de infiltração foi realizado no mesmo terreno que o ensaio em análise, porém em um ponto diferente (Figura 17). É possível notar que como deve-se esperar devido à proximidade dos locais de ensaio, os gráficos do ensaio 3 e do ensaio realizado por Souza (2017) possuem um comportamento semelhante. A taxa de infiltração calculada por este autor foi de 46,40 mm/h, valor muito próximo, porém um pouco inferior ao encontrado para o ensaio 3 (53 mm/h). Essas diferenças podem estar relacionadas as características dos locais

de ensaio, visto que o ensaio de Souza (2017) foi realizado em local de mata com características mais próximas do terreno natural com presença de vegetação e entulho, enquanto o ensaio 3 foi realizado em uma área com alterações, sem cobertura vegetal e com pouca presença de árvores em sua proximidade.

Figura 17 – Diagrama de infiltração de água no solo (Bairro Recanto dos Pássaros)



Fonte: Souza (2017)

#### 5.3.4 Ensaio 4: Loteamento Parque das Águas

Na Tabela 9 se encontra os dados de referência para o bairro Parque das águas, cujas camadas de solo apresentam características variadas combinadas com a de solos arenosos, incluindo uma faixa de areia fina a média, podendo ou não apresentar boa permeabilidade devido à alta presença de argila e silte nas camadas superiores. Além disso, a presença de aterro e o fato do local se tratar de um lote em bairro planejado pode supor que o terreno tenha passado anteriormente por algum tipo de compactação que pode vir a afetar a permeabilidade do solo e, conseqüentemente, o resultado do ensaio.

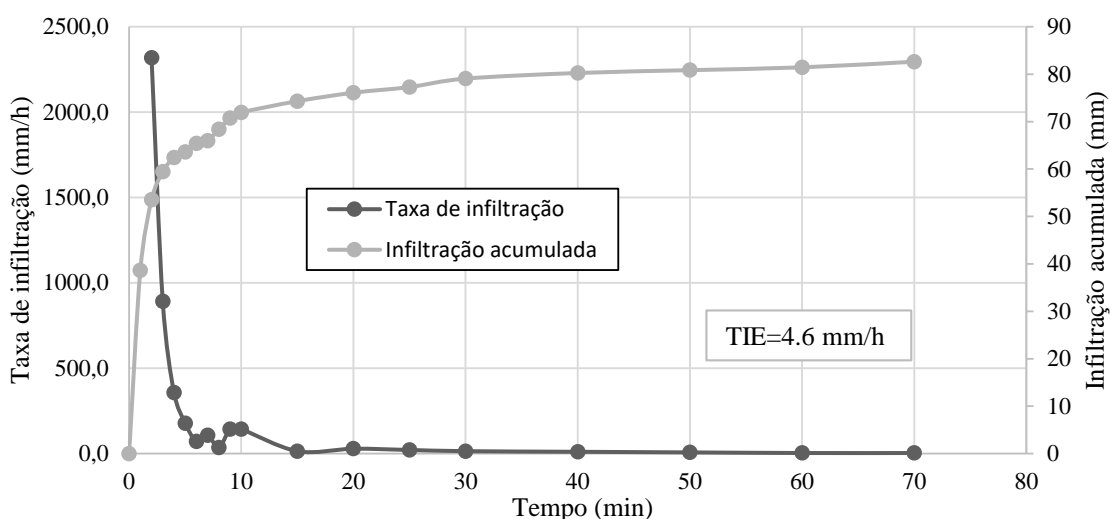
Na Figura 18 observa-se que a partir dos 40 minutos de execução do ensaio foi alcançada a estabilidade e obteve-se uma taxa de infiltração consideravelmente baixa, o que indica conseqüentemente, um baixo coeficiente de permeabilidade e uma baixa capacidade de infiltração do solo. O coeficiente de permeabilidade para o ensaio no Parque das águas foi de  $1,29 \times 10^{-4}$  cm/s.

Tabela 9 - Dados de referência para ensaio de infiltração 4 (Parque das Águas)

BAIRRO	PROFUNDIDADE (m)	TEXTURAS DE SOLO	N.A. (m)
PARQUE DAS ÁGUAS	1	ATERRO (ARGILO-ARENOSO), AMARELO, COM PEDREGULHOS DE GRANULAÇÃO VARIADA	SECO
	2	ATERRO (ARGILO ARENOSO), COM FRAGMENTOS DE ROCHA, PEDREGULHOS DE GRANULAÇÃO VARIADA E ÓXIDO DE FERRO	
	3	SILTE-ARENOSO, MARROM, MEDIANAMENTE COMPACTO A COMPACTO	
	4	AREIA, FINA A MÉDIA, MARROM, MEDIANAMENTE COMPACTO	
	5	ARGILA-ARENOSA, VARIEGADA, RIJO	
	5,45	ARGILA-ARENOSA, CINZA, RIJO	

Fonte: Autora (2024)

Figura 18 – Gráfico de infiltração 4 (Parque das Águas)



Fonte: Autora (2024)

Apesar de aos 3,00 e 4,00 metros de profundidade terem sido encontrados tipos de solo condizente aos indicados na Tabela 1, o resultado do ensaio pode ter sido afetado pela presença de aterro nos 2,00 metros superiores. Um outro fator é uma possível compactação do solo visto que além da existência de aterro o ensaio foi realizado em um terreno próximo a uma obra de grande porte, o que pode ter sido responsável pelo alcance da estabilidade de infiltração em pouco tempo de execução de ensaio.

Além dos resultados de ensaios de infiltração realizados para este trabalho, é possível observar o resultado de Souza (2017) para o mesmo ensaio realizado no bairro Renato Gonçalves, cujas texturas de solo apresentados nos ensaios SPT analisados são

majoritariamente de silte e argila, como é possível visualizar na Tabela 9 que apresenta um resultado de SPT realizado em um ponto a 100 metros do local onde o ensaio foi realizado.

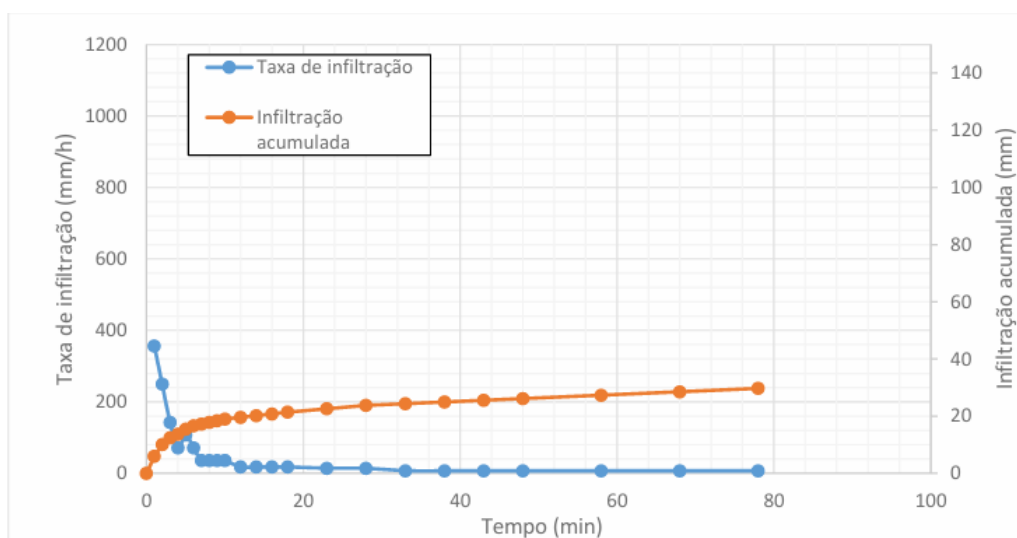
Os solos apresentados na Tabela 10 tendem a apresentar uma baixa permeabilidade devido à alta concentração de finos. Além disso, Souza (2017) realizou o ensaio a uma profundidade de 1,3 metros (Figura 19), onde foi constatado uma alta presença de umidade o que sugere um nível de água próximo a essa profundidade ao contrário do local onde foi realizado o ensaio SPT apresentado acima. Na Figura 19 é possível observar o comportamento da infiltração durante a realização do ensaio.

Tabela 10 - Resumo de resultado de ensaio SPT no bairro Renato Gonçalves

BAIRRO	PROFUNDIDADE (m)	TEXTURA DE SOLO	N.A. (m)
RENATO GONÇALVES	1	SILTE-ARENOSO, MARROM, FOFO	SECO
	2	SILTE-ARGILOSO, VARIEGADA, MUITO RIJO	
	3		
	4		
	5	ARGILITO (ALTERADO), MARROM	
	6	ARGILITO (ALTERADO), VARIEGADA	
	7	ARGILITO (ALTERADO), MARROM	
	7,15	ARGILITO (ALTERADO), BEGE	

Fonte: Autora (2024)

Figura 19 – Diagrama de infiltração de água no solo (Bairro Renato Gonçalves)



Fonte: Souza (2017)

Com base no diagrama acima percebe-se que a taxa de infiltração do ensaio foi consideravelmente inferior aos resultados dos ensaios 1 e 3, o que pode ser confirmado com

o valor calculado por Souza (2017) para a taxa de infiltração, que foi de 7,1 mm/h, fator que pode ter relação com o tipo de solo característico daquela região. Para essa taxa de infiltração temos um coeficiente de permeabilidade de  $1,97 \times 10^{-4}$  cm/s que é condizente com os valores encontrados na Tabela 1.

#### **5.4 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO COM BASE NA TAXA DE INFILTRAÇÃO**

A escolha de locais para implantação de trincheiras de infiltração deve ser baseada em diversos critérios como declividade do solo, uso do solo e cobertura vegetal, permeabilidade e tipo do solo, entre outros (Schueler, 1987). Segundo Urbonas e Stahre (1993), não é recomendado dispor água advinda de escoamento superficial em estruturas de infiltração se:

- a) A taxa de infiltração do solo saturado for inferior a 8mm/h, pois apresentam uma capacidade de infiltração muito baixa, impedindo que o volume de água escoado superficialmente infiltre de forma eficiente na superfície;
- b) O nível de água máximo sazonal do lençol freático estiver a menos de 1,20m abaixo do fundo da trincheira, pois diminui a profundidade de infiltração da água afetando o desempenho da estrutura;
- c) A superfície de infiltração for um aterro devido ao alto grau de compactação que se costuma encontrar nesses locais;
- d) A camada impermeável estiver a menos de 1,20m abaixo do fundo da trincheira por impedir a passagem da água para camadas inferiores alcançando rapidamente a saturação do sistema.

Neste trabalho o principal critério analisado para a determinação dos locais para a implantação das trincheiras foi a taxa de infiltração do solo saturado e o coeficiente de permeabilidade. Na Tabela 11 é possível visualizar os resultados de taxa de infiltração obtidos para cada bairro estudado, além da textura de solo apresentada no local, nível de água e do coeficiente de permeabilidade calculado.

Tabela 11 - Resumo de permeabilidade por bairro estudado

<b>BAIRRO</b>	<b>TEXTURA PREDOMINANTE</b>	<b>N.A. (m)</b>	<b>TAXA DE INFILTRAÇÃO O (mm/h)</b>	<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)</b>
<b>PARQUE DA CIDADE</b>	AREIA-SILTOSA	1,3	114,1	$3,17 \times 10^{-3}$
<b>BARREIRINHAS</b>	AREIA-SILTOSA E ARGILA SILTOSA	1,20	7,3	$2,03 \times 10^{-4}$
<b>RECANTO DOS PÁSSAROS</b>	AREIA FINA	0,98	53,0	$1,47 \times 10^{-3}$
<b>PARQUE DAS ÁGUAS</b>	ATERRO ARGILO ARENOSO, SILTE ARENOSO, ARGILA ARENOSA	SEC O	4,6	$1,29 \times 10^{-4}$
<b>RENATO GONÇALVES</b>	SILTE-ARENOSO, SILTE-ARGILOSO, ARGILITO	SEC O	7,1	$1,97 \times 10^{-4}$

Fonte: Autora (2024)

Com base na Tabela 11, o ponto estudado no Parque da Cidade apresenta melhores condições de infiltração tanto se analisada a sua taxa de infiltração quanto o seu coeficiente de permeabilidade. Segundo Melo *et al.*, (2016), a implantação de trincheiras de infiltração deve ser feita em solos que contenham baixos teores de silte e argila para que alcance taxas de infiltração eficientes como é o caso dos solos encontrados nos ensaios SPT de referência para os ensaios 1, 2 e 3. Apesar do bairro Barreirinhas (ensaio 2) apresentar areia como textura do solo predominante, a sua taxa de infiltração foi consideravelmente baixa, fator que pode advir da concentração de silte visto que o solo é composto de areia siltosa ou mesmo de uma condição de compactação elevada (com baixo índice de vazios). Além disso, os bairros Parque das Águas e Renato Gonçalves que apresentaram as menores taxas de infiltração possuem solo majoritariamente composto de argila e silte que tendem a possuir uma menor capacidade de infiltração.

O resultado da baixa taxa de infiltração encontrada no bairro Parque das Águas pode estar associada não só a textura de solo identificada, como também a presença de aterro compactado em sua superfície, visto que o ensaio de infiltração com anéis concêntricos foi realizado nas vizinhanças de uma obra de grande porte. A permeabilidade e consequentemente a infiltração vertical e horizontal do solo são sensíveis aos processos de compactação e adensamento. Portanto, o adensamento causado pela presença de uma construção pode reduzir consideravelmente a permeabilidade vertical e ampliar a horizontal (Carvalho, 2012). É indicado realizar outros métodos de ensaio de infiltração como é o caso do Permeômetro de Guelph para avaliar a permeabilidade além das camadas superiores que podem estar adensadas.

Os valores mínimos de taxa de infiltração do solo para implantação de trincheiras de infiltração apresentados na tabela 2 variam de 8 a 21,6 mm/h entre os autores considerados. Dentre os locais avaliados, apenas o Parque da Cidade e o Recanto dos Pássaros atenderam a esses valores de infiltração indicando que o solo apresenta capacidade de infiltração suficiente para o bom funcionamento da estrutura. O valor máximo de taxa de infiltração deve ser avaliado caso seja projetado a implantação de uma trincheira com função de filtrar materiais poluentes que escoem junto a água.

Os solos argilosos e siltosos possuem uma maior capacidade de armazenamento de água, porém baixa capacidade de infiltração, podendo afetar a eficiência da estrutura visto que o seu funcionamento é baseado principalmente na infiltração de água no solo. No entanto, a granulometria de solos tropicais tendem a não refletir completamente o seu comportamento, sendo necessária a análise de outras propriedades como, por exemplo, a estrutura do solo em estado natural e o intemperismo predominante nas camadas superiores do perfil (Carvalho, 2012).

Apesar deste trabalho buscar avaliar a implantação das trincheiras de infiltração com base na textura de solo e na sua capacidade de infiltração, também é possível com base nos dados disponíveis, avaliar se os locais estudados atendem as recomendações apontadas por Urbonas e Stahre (1993) para a utilização dessas estruturas. Conforme os dados da Tabela 11, apenas os bairros Parque da Cidade e Recanto dos Pássaros apresentaram uma taxa de infiltração acima de 8 mm/h. Desses bairros, apenas o Parque da cidade não possui camada superficial de aterro, camada impermeável a menos de 1,20m do fundo da trincheira considerando uma trincheira de 2,0m de profundidade. Porém, seu nível d'água se encontra em 1,30m, ou seja, não atende o requisito de possuir nível d'água máximo a 1,20m do fundo da trincheira. Na tabela 12 é possível visualizar a avaliação dos bairros onde se realizaram ensaios de infiltração.

Tabela 12 - Critérios de escolha de locais para implantação de trincheira

CRITÉRIO/BAIRRO	PARQUE DA CIDADE	BARREIRINHAS	RECANTO DOS PÁSSAROS	PARQUE DAS ÁGUAS	RENATO GONÇALVES
TAXA DE INFILTRAÇÃO > 8mm/h	✓	✗	✓	✗	✗
NÍVEL D'ÁGUA > 1,20m ABAIXO DO FUNDO DA TRINCHEIRA	✗	✗	✗	✓	✓
SUPERFÍCIE DE INFILTRAÇÃO DIFERENTE DE ATERRO	✓	✓	✗	✗	✓
CAMADA IMPERMEÁVEL > 1,2m ABAIXO DO FUNDO DA TRINCHEIRA	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Autora (2024) e Souza (2017).

Conforme mostrado na Tabela 12, nenhum dos locais avaliados atende a todos os critérios, porém é possível avaliar se os fatores não atendidos impedem o bom funcionamento da estrutura e se existem soluções viáveis para corrigir ou mitigar os efeitos dos critérios não atendidos. O bairro Recanto dos Pássaros possui uma camada de aterro em sua superfície, mas sua espessura é de apenas 1,0m o que pode viabilizar a retirada desse material na área da trincheira para que ele não interfira no processo de infiltração. Além disso, apesar da presença de aterro, o resultado do ensaio de infiltração apresentou uma boa taxa de infiltração o que pode indicar que a presença de aterro nesse local não alterou significativamente o processo de infiltração.

Ademais, os bairros Barreirinhas e Renato Gonçalves apresentaram uma taxa de infiltração de respectivamente, 7,3 e 7,1mm/h, que apesar de não atender ao requisito mínimo é consideravelmente próximo a ele, podendo ser avaliado considerando uma estrutura que atenda a uma menor área de contribuição de drenagem. Isto porque, a trincheira pode agir como um local de armazenamento temporário para que o solo tenha um maior tempo para realizar a infiltração da água pluvial.

Além dos fatores avaliados acima, outros aspectos devem ser considerados para garantir que a trincheira de infiltração funcione corretamente e não gere transtornos ao ambiente e a vizinhança local. Dessa forma, não se deve utilizar esse dispositivo de drenagem em (Hasegawa et al., 1999):

- a) Áreas com risco de deslizamentos;
- b) Áreas degradadas e com alta declividade;
- c) Áreas sujeitas a efeitos da maré;
- d) Áreas com grande densidade de drenagem.

É preciso considerar ainda a importância de não determinar o uso de estruturas de infiltração apenas com base no tipo de solo, visto que a sua condutividade hidráulica pode variar consideravelmente em função da estrutura do solo. Souza (2002) aponta ainda que apesar da trincheira de infiltração apresentar diversas vantagens como redução do escoamento superficial, menor custo de execução do que sistemas convencionais de drenagem, redução de risco de alagamento e inundações e recarga do lençol freático, ela apresenta também desvantagens como:

- a) Necessidade de vistoria e manutenção periódica devido ao risco de colmatação (deposição e acúmulo de partículas);
- b) Limitação de uso devido a declividade do terreno;

c) Risco de poluição do lençol subterrâneo.

Assim como a maioria dos sistemas de drenagem baseados no processo de infiltração, a trincheira favorece a percolação concentrada da água provocando rapidamente e de forma pontual, o aumento da carga hidráulica e das condições de saturação do solo, causando riscos como erosão e colapso do solo na região onde a estrutura está localizada. Solos como os tropicais colapsíveis tendem a ser sensíveis a variações de umidade, podendo ter a sua resistência ao cisalhamento reduzida, ao passo que solos que contenham argilominerais expansivos ao sofrerem infiltração podem apresentar elevada expansão e alteração na sua resistência (Carvalho, 2012). Dessa maneira, recomenda-se realizar um estudo de caracterização do solo a fim de evitar consequências negativas ligadas ao uso das trincheiras de infiltração.

## 6. CONCLUSÕES

No presente estudo foi construído um banco de dados das texturas de solos encontradas no perímetro urbano do município de Barreiras-Ba a partir de resultados de ensaios SPT já realizados por empresas da região. Com base nessas informações foi realizado um mapeamento das texturas de solo encontradas no perímetro urbano deste município a partir da análise de grades. O produto resultante foi analisado e utilizado para indicar locais cuja textura de solo apresenta permeabilidade adequada para implantação de trincheiras de infiltração. No presente estudo, grades com tamanhos de 500 x 500 m foram as mais adequadas para essa finalidade. Em estudos futuros, entretanto, recomenda-se o uso de métodos mais robustos, para a análise da distribuição espacial das texturas de solos de Barreiras.

O mapa textural permitiu identificar bairros potenciais a apresentar uma boa permeabilidade para que fosse realizado o ensaio de infiltração com anéis concêntricos, foram eles os bairros Parque da Cidade, Barreirinhas, Recanto dos Pássaros e Parque das Águas. Os bairros Parque da Cidade e Recanto dos Pássaros foram os que apresentaram taxas de infiltração consideradas como ideais para implantação das trincheiras de infiltração conforme valores indicados por diversos autores. Além disso, analisaram-se os resultados apresentados por Souza (2017) para o bairro Renato Gonçalves que indicou uma baixa capacidade de infiltração, o que pode comprometer o funcionamento das trincheiras de infiltração mas pode ser considerado para utilização de outras técnicas de compensatórias.

Por meio da análise das taxas de infiltração, da profundidade do nível d'água, da profundidade da camada penetrável e da presença de aterro na superfície de infiltração, foi concluído que dos bairros estudados, o Parque da Cidade e Recanto dos Pássaros apresentaram maior potencial para a implantação de trincheiras de infiltração. Em conjunto com o mapa produzido em SIG, verificou-se que a maior parte das texturas encontradas foram de argila, com maiores ocorrências nos bairros Centro e Vila Regina, incluindo locais onde ocorrem alagamentos sazonais no município. Nesses locais não é indicado a implantação de trincheiras de infiltração como estruturas de drenagem, já que as argilas tendem a apresentar baixos coeficientes de permeabilidade, podendo comprometer a eficiência do funcionamento da estrutura. O mesmo ocorre com a textura de silte que também possui baixa permeabilidade. Solos siltosos, entretanto, ocorreram de forma localizada em Barreiras, sobretudo, nos bairros Bandeirantes, Cidade nova, Mimoso, Morada da Lua, Renato Gonçalves e Vila Regina.

A textura de areia considerada como a mais adequada para a implantação de estruturas de infiltração devido aos seus coeficientes de permeabilidade característicos, ocorreram em vários setores no perímetro urbano de Barreiras, como nos bairros Barreirinhas, Boa Sorte, Centro (proximidades da praça das corujas), Loteamento São Paulo, Morada Nobre, Parque da cidade, Parque das Águas e Recanto dos Pássaros, na vizinhança do Campus do IFBA Barreiras e Santa Luzia.

É necessário considerar também que a capacidade de infiltração do solo é variável devido ao seu comportamento como compactação, presença de raízes, estrutura, além de ser influenciado por fatores externos como umidade, temperatura, entre outros. Dessa maneira, é indicado pelo critério de textura do solo que os bairros em que foram identificadas a presença de textura arenosa possuem condições de infiltração adequadas para a implantação das trincheiras de infiltração, porém é necessário realizar estudos específicos e mais detalhados para se efetivar a viabilidade da implantação dessa estrutura.

Apesar do principal critério avaliado neste estudo ser as características de permeabilidade por textura de solos, recomenda-se realizar ensaios adicionais futuros, como, por exemplo, os de laboratório, a fim de detalhar o comportamento dos solos e certificar que as suas condições atuais são propícias para o recebimento da estrutura. De forma similar, pode ser realizado uma análise de simulação de trincheiras de infiltração nos locais onde se obteve resultados positivos com os ensaios de infiltração.

## **7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- 1) Utilizar um maior número e de ensaios SPTs para complementar o banco de dados;
- 2) Correlação estratigráficas dos perfis obtidos por SPTs;
- 3) Utilizar a geofísica para adensar informações (Estratos e Nível d'água);
- 4) Mapa topográfico georrefenciado (Imagens VANT) para análise da declividade dos terrenos;
- 5) Estudar a utilização de técnicas compensatórias que atuem em maior profundidade com base no perfil apresentado na tabela 5;
- 6) Analisar viabilidade do uso de trincheiras de infiltração a montante dos locais onde costumam ocorrer alagamentos a fim de diminuir a vazão de água pluvial que chega nos pontos a jusante.

## **8. REFERÊNCIAS**

AGUIAR, A.B.O. (2001). **Emprego Do Permeômetro De Guelph Na Determinação Da Permeabilidade Do Solo De Camadas De Lixo E Sua Cobertura**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 90p.

AKAN, A. O. **Sizing Stormwater Infiltration Structures**. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 128, n. 5, p. 534-537, 2002.

ALENCAR, S. G.; NETO, M. M. C.; SANDRIN, G. M.; CAMPOS, C. A. B. **Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana para Manejo de Águas Pluviais: Revisão Sistemática e Análise Comparativa de Métodos Convencionais e Inovadores no Estado de Mato Grosso**. In: SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS, 2022. Brasília, Distrito Federal. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2022, 13 p.

ALONSO, U. R. **Rebaixamento temporário de aquíferos**. São Paulo: TECNOGEO/GEOFIX, 1999. 131 p.

ALMEIDA, T. A. **Impactos decorrentes das mudanças ocasionadas pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica urbana da UFJF–CAMPUS JF sobre o escoamento superficial**, 2011. 91 fls. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Manual de sondagens**: Boletim n° 3. 5. ed. São Paulo: ABGE, 2013.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E.; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. D. C.; ASSIS, M. C. **Monitoramento da expansão agropecuária na Região Oeste da Bahia**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 39 p.

BOUWER, H. **Artificial Recharge of Groundwater: hydrogeology and engineering**. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, p. 121-142, 2002.

BRASIL. Lei nº 1.426, de 17 de dezembro de 2019. Dispõe sobre o zoneamento do uso e ocupação do solo urbano no município de Barreiras/BA. **Diário oficial de Barreiras: Barreiras, BA**, ano 13, nº3101, p. 310-328, 20 dez. 2019.

CARVALHO, J. C.; JUNIOR, G. F. N. G.; CARVALHO, E. T. L. (2012). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Série Geotecnia, v. 4, 644 p.

CAMPOS, J. C. (2015). **Elementos de fundações em concreto**. São Paulo: Oficina de Textos.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. 302 p.

CAPUTO, U. K. **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada / Estudo de caso do município de belo horizonte - MG**. Belo Horizonte, 2012.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação de Elementos de Infiltração de Águas Pluviais na Zona Norte da Cidade de Goiânia**. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

CHAHAR, B. R.; GRAILLOT, D.; GAUR, S. **Storm-Water Management Through Infiltration Trenches**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 138, n. 3, p. 274-281, 2012.

DUCHENE, M.; MCBEAN, E. A.; THOMSON, N. R. **Modeling of Infiltration From Trenches for Storm Water Control**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 120, n. 3, p. 276-293, 1994.

EGYDIO-SILVA, M. **O Sistema de Dobramentos Rio Preto e suas relações com o Cráton do São Francisco**. 1987. Universidade de São Paulo, 1987.

ELIAS, Denise. **Agricultura e produção de espaços urbanos não metropolitanos: notas teórico metodológicas**. In: SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão (org.). *Cidades Médias: Espaços em transição*. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

EMERSON, C. H.; WADZUK, B. M.; TRAVER, R. G. **Hydraulic Evolution and Total Suspended Solids Capture of an Infiltration Trench**. *Hydrological Processes*, v. 24, n. 8, p. 1008-1014, 2010.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. ; FEITOSA, E. C. ; DMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 3a Edição Revisada e Ampliada**. CPRM Serviço Geológico Nacional, 2008. P. 77 – 91

FERNANDES, M. T. **Avaliação das técnicas de laboratório e campo para realização de ensaios de permeabilidade de solos**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

FERRAZ, F. M., MIYASHIRO N. J., RIYIS M. T., CUNHA R. C. A. (2015). **Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sondagens e slug test em poços de monitoramento**. *InterfacEHS*, v. 10, n. 1

GALVÃO, B. B.; SANTOS, J. S.; SANTOS, R. P.; NOGUEIRA, R. M.; ANDRADE, W. V.; SWARTELE, J. C.; ÓRFÃO, R. B.; AMARANTE, M. S. **Importância da Sondagem SPT na Construção Civil: Tipos de Sondagens, seus Métodos e Utilidades**. *Revista Pesquisa e Ação*, v. 5, n. 2, 2019.

GRACIOSA, M. C. P. **Trincheira de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 282p. 2005.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S. **Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso**. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, (Pombal – PB – Brasil) v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

HASEGAWA, T.; NAKANISHI, M.; FUJIURA, S. **Evaluation method of storm water infiltration system.** In: International Conference On Urban Storm Drainage, 8., 1999, Sydney. P. 1927-1934.

HENRIQUES, J. A.; OLIVEIRA, R.; COURA, M. A.; LIBÂNIO, M.; BAPTISTA, M. B. **Água de drenagem ou esgoto sanitário? Uma análise do sistema de macrodrenagem em uma cidade de médio porte na região Nordeste.** Periódico Eng Sanit Ambient, v. 26, n. 5, p. 935-943, 2021.

HEINZEN, G. **Efeito da variação da granulometria na permeabilidade de amostras de areia.** 2019. 86 p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia civil de Infraestrutura – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico de Joinville, SC.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/barreiras>. Acesso em: 23/10/2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos.** Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/BA>. Acesso em: 22/10/2023.

JABUR, A. S. **Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco, PR.** 167f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

JACINTO, M. A. S.; LIMA, C. L. F. R.; PETEK, O. J. D. A.; NETO, C. L. A.; MARTINS, J. B.; DOMINGOS, L. G.; LIMA, A. G. M.; NERY, L. M. C. **Análise de ensaios SPT realizados na cidade de São Luís –MA para caracterização do solo na região do Renascença.** Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales, (São José dos Pinais – PA – Brasil) v.16, n.9, p. 15460-15480, 2023.

LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. C.; LOPES, G. M. B. **Alterações Climáticas Globais; Uma Realidade em Pernambuco.** 2014. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, V.11/12, p. 121 – 154.

LUCAS, A. H.; BARBASSA, A. P.; MORUZZ, R. B. **Modelagem de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração pelo método de PULS adaptado para calibração de parâmetros.** 2013. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V.18, n.2, p. 225 – 236.

MACÊDO, G.; SOARES, W. (2020). **Utilização de métodos de campo e laboratoriais para estimação de propriedades hidrodinâmicas do solo.** *Águas Subterrâneas*, 34(2), 166-176.

MAHLER, C. F.; AGUIAR, A. B. (2001). **Determinação Da Permeabilidade In Situ Em Aterros De Resíduos Sólidos.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 9p.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ALVES, L.; NOBRE, C. A.; PISNITCHENKO, I. **Atlas de Cenários Climáticos Futuros do Brasil.** Cachoeira Paulista, SP: CPTEC - INPE, 2007. 124p.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.16, p. 1-18. 2002.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas.** 2017. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de et al. **Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.16, n. 3, p. 53-72. Set 2016.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade.** 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

NASCIMENTO, Paloma de Souza. **O atual movimento de expansão urbana na cidade de Barreiras (BA).** Revista de Geografia. Juiz de Fora, v. 6, n. 2, p. 209-217. 2016.

NETO, J. P. S. **Avaliação geoambiental da bacia do Rio de Ondas no Oeste da Bahia. Tese de doutorado em Ciências.** Brasília: UNB, 2005.

NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL (NUCASE). **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte: ReCESA, 2007. 52 p.

NYLANDER, J. D. A.; BARROS, A. J. A.; MESQUITA, K. F. C.; BEZERRA, G. C. M.; PEREIRA, J. A. R. **Análise das causas e consequências de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica da Tamandaré do município de Belém/PA.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n.5, p. 49335-49348, 7 jun 2021.

PASSO, D. P.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; REATTO, A.; CASTRO, K. B.; LIMA, L. A. S.; JUNIOR, O. A. C.; GOMES, R. A. T. **Caracterização geomorfológica do município de Barreiras, Oeste Baiano.** Embrapa Cerrados. Planaltina, 2010. 29 p

PAVÃO, C. G., ROIG, H. L., MENEZES, P. H. B. J., FRANÇA, G. S. L. A., ALVES, R. R., **Metodologias de interpolação espacial aplicada a dados de espessura crustal na Bacia do Paraná.** In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, p. 3435-3442.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

**Plano Setorial de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Barreiras.** Barreiras, 2010.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável.** In. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5. n.1. (Porto Alegre). Pp. 15-24, jan/mar. 2000.

URBONAS, B; STAHERE, P. 1993. **Stornwater Best Management Practices and Detetion,** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.

REIS, R.P.A. **Avaliação de desempenho e modelagem numérica de sistemas de infiltração de água de chuva integrado aos sistemas prediais.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018

ROCHA, M. R.; CAMPOS, J. C. V. **Compartimentação Hidrogeológica da Área Urbana de Barreiras – Ba.** 2015. XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

ROSA, A. F. **Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de patrocínio – MG.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

SANTOS, A. A. M.; CALVARIO, A. C. **Sistemas Compensatórios de Drenagem Urbana: Um Estudo Sobre a Aplicabilidade de Poços de Infiltração.** 2021. 50 p. Trabalho Final de Curso da Pós-Graduação lato sensu em Engenharia de Infraestrutura Urbana – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, ES.

SCHUELER, T. **Controlling Urban Runoff. Washington Metropolitan Water Resources Planning Board.** 1987. p210.

SCHUSTER, R.C. **Desenvolvimento de um modelo hidrológico de transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios.** 2014. 53 p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

SILVA, J.P.; CARVALHO, J.C.; PALMEIRA, E.M. Capítulo 18 - **Trincheiras como estrutura de infiltração.** Organizadores: CARVALHO, José Camapum, GITIRANA Jr. Gilson de Farias Neves, CARVALHO, Eufrozina Terezinha Leão. Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Série Geotecnia – UnB. Brasília - DF. p. 353-374. 2012.

SILVA, M. P.; COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H. **Aplicação do Modelo de Gestão de Drenagem Urbana SWMM no Controle de Alagamentos em Barreiras – BA.** In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013, 8 p.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 4ª Ed. Cap. 2, p35-51. 2001.

SILVESTRI, G. R. **Avaliação da Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema de Drenagem por Trincheiras de Detenção em um Loteamento Residencial**. 2018. 150 p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil – Universidade de Caxias do Sul, RS.

SOUZA, E. M.; BATISTA, M. A. B.; HONDA, E. A. **Determinação da Capacidade de Infiltração em Solo de Cerrado no Município de Assis-SP**. Iflorestal Séries Registros, n.36, p.155- 159, São Paulo: 2008.

SOUZA, J. L. S. **Medida compensatória em uma microbacia urbana da cidade de Barreiras – BA**. 2017. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Universidade Federal do Oeste Bahia, Barreiras – BA, 2017.

SOUZA, V. C. B. **Estudos Experimentais de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**, Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Rio Grande do Sul – IPH. 2002. 127f. Porto Alegre. Rio Grande do Sul, 2002.

TANAKA, R. S. **Contribuição ao Mapeamento Geotécnico da Cidade de Barreiras-Ba por Meio de Boletins de Sondagem do Tipo SPT e o Seu Uso para Análise Preliminar em Fundações**. 2015. 126 p. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Oeste da Bahia, BA.

TUCCI, C. E. M., et al. (2003). **Inundações urbanas na América do Sul**. 1. Ed. Porto Alegre. ABRH. 471 p.

TUCCI, Carlos E. M.; BELTRAME, Lawson F. S. **Evaporação e Evapotranspiração**. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 1993. v. 4, cap. 7, p. 253-287.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Saneamento para Todos. Programa de Modernização do Setor Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades. Brasília - DF, 4º Volume, 194p. 2005<sup>a</sup>.

WARNAARS, E. et al. **Hydrologic Behaviour of Stormwater Infiltration Trenches in a Central Urban Area During 3/4 Years of Operation**. Water Science Technology, v. 39, n. 2, p. 217-224, 1999.