

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

STANLEY CHIKE DE SOUSA SILVA EGBO

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE NO ATERRO
MUNICIPAL DE TOLEDO-PR**

TOLEDO-PR

2020

STANLEY CHIKE DE SOUSA SILVA EGBO

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE NO ATERRO
MUNICIPAL DE TOLEDO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Calil Abumanssur

TOLEDO-PR

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de N°_250

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade no Aterro Municipal de Toledo-PR.

por

Stanley Chike de Sousa Silva Egbo

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:00 h do dia **14 de setembro de 2020** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Me. Calil Abumanssur
(UTFPR – TD)
Orientador

Prof. Me. Silvana da Silva
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Elmagno Catarino Santos Silva
(UTFPR – TD)

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Gustavo Savaris
Coordenador da COECI

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me guiar e permanecer sempre ao meu lado.

À minha mãe, Janete, me concebeu o dom da vida, me protegeu, me educou e sempre acreditou em mim e na nossa família. Sempre batalhou para que eu tivesse todas as condições para concluir uma graduação. Obrigado, eu te amo demais!

Ao meu irmão, Collins, por ter acreditado em mim mesmo longe.

À minha tia, Andreia, por ser minha segunda mãe.

Ao meu orientador, Prof. Me. Calil Abumanssur, pela confiança, apoio e orientação.

Aos meus irmãos, da universidade e da vida, pelo apoio, colaboração e todos os momentos que passamos. Obrigado!

RESUMO

O coeficiente de permeabilidade do solo, é uma propriedade físico-hídrica essencial para o dimensionamento de tanques sépticos, reaproveitamento de água e técnicas de manejo do solo. Sendo assim, este trabalho apresenta uma análise do coeficiente de permeabilidade médio do solo, no Aterro Municipal de Toledo. Para isso, foram analisadas as características do mesmo e suas propriedades físicas como textura, densidade dos grãos, limites de liquidez e limites de plasticidade. Para a determinação de tal coeficiente, analisou-se os resultados dos ensaios de infiltração, que são regulamentados pela NBR 13969/1997, além dos resultados dos ensaios feitos no anel concêntrico. Foram estabelecidas, ainda, as correlações entre os coeficientes de permeabilidade, de acordo com as propriedades do solo, bem como comparou-se o desempenho dos ensaios. Após a análise dos ensaios realizados, verificou-se que a granulometria predominante da região é argila, além de comprovarem por meio da infiltração a baixa permeabilidade do solo. Conclui-se, que os resultados foram satisfatórios, diante à baixa variação entre os valores obtidos.

Palavras-chave: Coeficiente de permeabilidade. Aterro Municipal. Curva granulométrica. NBR 13969/1997.

ABSTRACT

The coefficient permeability of soil is an essential physical-hydraulic property for the design of septic tanks, water reuse and soil management techniques. Therefore, this work, it is presented an analysis of medium coefficient permeability of soil, at the Municipal Landfill of Toledo. For this, there were analysed the solo characteristics and its physics properties, as texture, density of grains, liquidity and plasticity limits. To determine such coefficient, it had been analyzed the results of infiltration tests, regulated by NBR 13969/1997, and the test of the concentric ring. There were established, yet, the interrelation between the permeability coefficients, according to the solo properties, as well as comparing the tests performances. After doing the tests analysis, it is verified that the prevalent grain size of the region is clay and the infiltration tests prove the low soil permeability. Finally, the results were satisfying, due to the low change between the values obtained.

Keywords: Permeability coefficient. Municipal Landfill. Grain size curve. NBR 13969/1997.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases no solo.....	14
Figura 2 - Matriz no solo.....	16
Figura 3 - Simulador de chuva	18
Figura 4 - Kit de anéis concêntricos	19
Figura 5 - Pontos de análise.....	23
Figura 6 - Amostra de solo	24
Figura 7 - Amostra imersa em água destilada.....	25
Figura 8 - Aplicação de vácuo no picnômetro	26
Figura 9 - Pasta homogênea.....	27
Figura 10 - Cilindro sobre chapa de vidro	28
Figura 11 - Cilindro Fragmentado.....	29
Figura 12 - Material em repouso	30
Figura 13 - Ensaio de infiltração.....	32
Figura 14 – Preparação do ensaio de infiltração com anéis concêntricos.....	33
Figura 15 - Ensaio de infiltração com anéis concêntricos	33
Figura 16 - Curva granulométrica P1	35
Figura 17 - Curva granulométrica P2	36
Figura 18 - Curva granulométrica P3	37
Figura 19 - Curva granulométrica P4	37
Figura 20 - Curva granulométrica P5	38
Figura 21 - Curva granulométrica P6	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de coeficiente de permeabilidade	17
Tabela 2 - Conversão de valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial	21
Tabela 3 - Coordenadas dos pontos de ensaios	23
Tabela 4 - Resumo dos ensaios de caracterização do solo	40
Tabela 5 - Taxa de Percolação	41
Tabela 6 - Coeficiente de Permeabilidade	42
Tabela 7 – Resumo do ensaio de infiltração com anel concêntrico.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo Geral.....	11
1.2 Objetivos Específicos	11
1.3 Justificativa	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Disposição de efluentes no solo	12
2.2 Solo	13
2.2.1 TEXTURA DO SOLO.....	14
2.2.2 POROSIDADE DO SOLO.....	15
2.3 Coeficiente de permeabilidade	16
2.4 Métodos para determinação da infiltração	18
2.4.1 SIMULADORES DE CHUVA	18
2.4.2 INFILTRÔMETRO DE ANEL CONCÊNTRICO.....	19
2.4.3 MÉTODO DA NBR 13969/97 TANQUES SÉPTICOS	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Caracterização da área de estudo	22
3.1.1 ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE TOLEDO	22
3.2 Caracterização do solo.....	23
3.2.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA	24
3.2.2 UMIDADE DO SOLO	24
3.2.3 MASSA ESPECÍFICA.....	25
3.2.4 LIMITE DE LIQUIDEZ.....	27
3.2.5 LIMITE DE PLASTICIDADE	28
3.2.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	29
3.3 Ensaio de infiltração do solo (NBR 13969/97)	31
3.4 Ensaio de infiltração com anel concêntrico	32

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 Curvas granulométricas	35
4.2 Ensaio de infiltração	40
4.3 Ensaio de infiltração com anel concêntrico	44
5 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
APÊNDICE A – DENSIDADE REAL DOS GRÃOS.....	50
APÊNDICE B – LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE.....	52
APÊNDICE C – ENSAIO DE INFILTRAÇÃO	59

1 INTRODUÇÃO

Conforme Reichardt e Timm (2004) a água move-se no sistema solo-atmosfera em todos os seus estados físicos. No solo, o principal movimento da água ocorre na fase líquida, através de processos conhecidos como infiltração ou percolação. Já na atmosfera, esse deslocamento da água ocorre na fase gasosa, através da evaporação. Essas alterações no estado físico da água são denominadas ciclo hidrológico.

Assim, de acordo com Garcez e Alvarez (1988) a passagem lenta de um líquido através do solo denomina-se percolação, a qual depende diretamente das características físico-hídricas do solo, como a condutividade hidráulica, e das suas propriedades físicas, como textura e porosidade.

O processo de infiltração, fenômeno considerado como sinônimo da percolação, colabora com o ciclo hidrológico, descrevendo a penetração da água nas camadas de solos, movendo-se verticalmente sob ação da gravidade (PINTO *et al.*, 1976).

Para Oliveira *et al.* (2005), determinar todas as variáveis que influenciam no processo de infiltração é um processo complexo. Portanto, diversos modelos matemáticos e ensaios de campo têm sido propostos com a finalidade de simplificar o estudo desse fenômeno.

Destaca-se que a determinação da capacidade de percolação influencia em diversas áreas de estudos, como agricultura e meio ambiente, além de possibilitar métodos de controle de escassez hídrica.

De maneira geral, o entendimento desse processo de infiltração de água é fundamental para realização de técnicas de manejo do solo, tratamento de efluentes líquidos, reabastecimento dos lençóis freáticos e redução do escoamento superficial.

1.1 Objetivo Geral

Determinar o coeficiente de permeabilidade média do solo, no Aterro Municipal de Toledo, localizado na cidade de Toledo, Paraná.

1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos:

- Aplicação de ensaios de caracterização do solo;
- Construir a curva granulométrica;
- Analisar a textura das amostras;
- Analisar as condições de permeabilidade na região do Aterro Municipal de Toledo;
- Aplicação de métodos específicos de ensaios de infiltração;

1.3 Justificativa

O desenvolvimento urbano, juntamente com a escassez de recursos públicos, prejudica diretamente o crescimento dos centros urbanos, gerando problemas estruturais, principalmente em torno da qualidade e disponibilidade da água, tendo como exemplo a crise hídrica no Sudeste do Brasil (CADORE *et al.*, 2015).

Além disso, consoante com Baptista *et al.* (2016) a ocupação das terras urbanizadas influencia no crescimento das áreas impermeabilizadas, alterando o escoamento das águas pluviais e, conseqüentemente, causando mudanças no ciclo hidrológico natural.

Atualmente, técnicas de manejo sustentável da água como trincheiras, valas e poços de infiltração são alternativos para a redução do escoamento superficial e controle do ciclo hidrológico (LUCAS *et al.*, 2015).

O presente trabalho torna-se importante por apresentar um estudo das condições de permeabilidade do solo, através da determinação do coeficiente de permeabilidade de uma determinada área, que possibilita dar suporte aos projetos de ocupação ou utilização local.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será abordada a técnica de destinação de resíduos, como também conceitos de escoamento da água através do solo. Além disso, apresenta-se algumas propriedades do solo e ensaios de campo que foram utilizados para caracterizar esse processo de infiltração

2.1 Disposição de efluentes no solo

A disposição de efluentes líquidos no solo é considerada uma das técnicas mais antigas utilizadas a fim de dar o destino adequado tanto a resíduos sólidos como a efluentes líquidos. Atualmente, essa técnica está presente em todo o mundo, colaborando com novas pesquisas que tratam da sua eficiência em conjunto com outros sistemas de tratamento (KLUSENER, 2001).

Por conseguinte, a aplicação de efluentes líquidos no solo tem capacidade para gerar grande melhoria nas suas propriedades físicas, biológicas e químicas, beneficiando tanto o meio ambiente como a humanidade (OLIVEIRA, 2014).

Segundo Campos (1999), trata-se de um processo de reuso e tratamento, já que proporciona a reutilização da água e se beneficia da grande quantidade de matéria orgânica produzida nos efluentes líquidos, que atuam como fertilizantes.

Entretanto, não há evidências de que a disposição de efluentes no solo é a destinação mais apropriada, embora países como Israel e Austrália apresentem pesquisas que comprovam que os impactos negativos provocados por essa técnica são pequenos, ao passo que garante um desenvolvimento sustentável (PAGANINI, 2003).

Todavia, em conformidade com Oliveira (2014) poucas pesquisas nesse sentido foram desenvolvidas em solos e climas brasileiros, dificultando a criação de leis que possam assegurar uma destinação correta e segura.

Com isso, a disposição inadequada de efluentes no solo, mesmo que tratado, pode promover alterações nas suas características físicas, biológicas e químicas, prejudicando o processo de percolação (GLAUGHEN, 2005).

Frisa-se que o processo de percolação é diretamente influenciado pelo coeficiente de permeabilidade de um determinado tipo de solo, sendo que tal coeficiente relaciona elementos como a textura e a porosidade do solo analisado (MESQUITA; MORAES, 2004).

2.2 Solo

Segundo Oliveira *et al.* (2005), o solo é caracterizado como o resultado da decomposição de rochas que constituíam a crosta terrestre, sua utilidade varia de acordo com a sua aplicação, sendo necessário no desenvolvimento da agricultura e na fundação de obras civis.

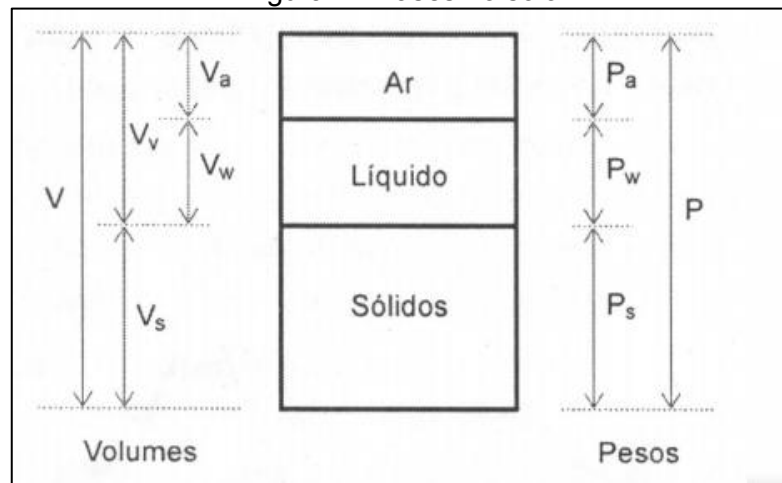
Além disso, é fundamental na manutenção da flora e de microrganismos, assim como para abrigar lençóis freáticos e garantir alimentação e renda para a sociedade. Confirmando a importância atribuída, incumbe destacar que, desde a antiguidade, o solo é o principal motivo de diversos conflitos ocorridos no território mundial (OTTONI, 2005).

Tendo em vista a influência do solo na humanidade, diversos estudos sobre sua formação, características, classificação e aplicação foram desenvolvidos.

De acordo com Pinto (2005), o solo é formado por três fases, conforme esquematizado na figura 1, as quais estão apresentadas de acordo com seus volumes e pesos, auxiliando na determinação entre elas:

- Fase sólida: composta pelas partículas minerais;
- Fase líquida: composta pela água;
- Fase gasosa: composta pelo ar, que se apresenta nos espaços vazios do solo.

Figura 1 - Fases no solo



Fonte: Sousa Pinto (2005).

Pinto (2005) afirma que as propriedades do solo variam de acordo com o estado em que se encontram. Desse modo, fatores como compressão do solo e evaporação podem provocar a redução dos volumes de vazio, porém, as partículas de solo que o constituem permanecem inalteradas.

Assim, um estudo mais aprofundado das propriedades do solo, como textura, porosidade e condutividade hidráulica facilita o entendimento dos processos de percolação.

2.2.1 TEXTURA DO SOLO

A textura tem grande relevância no comportamento físico-hídrico e químico do solo, sendo representada pela parcela dos componentes granulométricos da fase mineral do solo, areia, silte e argila. A classificação segue o padrão disposto a seguir (EMBRAPA, 2018):

- Argila (< 0,002 mm)
- Silte (0,002 - 0,05 mm)
- Areia fina (0,05 - 0,2 mm)
- Areia grossa (0,2 - 2 mm)

As frações mais grosseiras que a fração de areia são:

- Cascalho (2 - 20 mm)
- Calhau (20 - 200 mm)
- Matacão (> 200 mm)

Através de uma análise granulométrica, realizada em laboratório, a amostra de solo passa por peneiramentos sucessivos até determinar exatamente a proporção de partículas grossas, médias e finas.

A classe textural de um solo é uma característica que varia pouco ao longo do tempo, mudança essa que ocorrerá se houver alterações da composição do solo devido ao intemperismo e/ou erosão, processo que ocorre ao longo de séculos. Logo, alterações nas propriedades estão ligadas a variações de outras características físicas (REINERT; REICHERT, 2006).

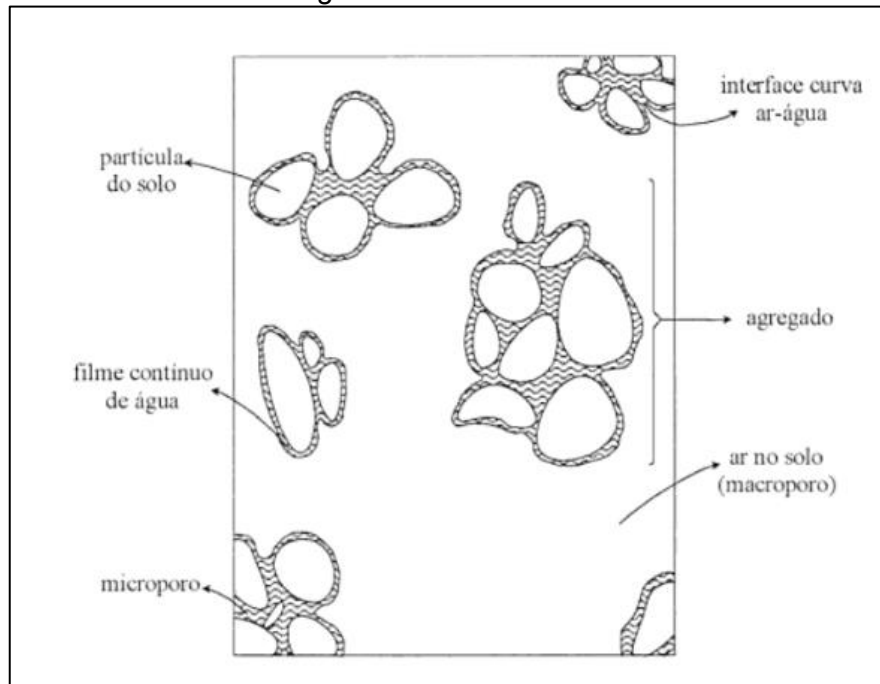
2.2.2 POROSIDADE DO SOLO

A denominada porosidade é a propriedade física do solo que representa a relação entre volume de vazios e o volume total. Tal qual Ottoni (2005), a porosidade é classificada de acordo com o tamanho e distribuição dos poros, destacando duas classes principais: microporos e macroporos, exemplificados na figura 2 abaixo.

De acordo com Libardi (2005), as classificações são as seguintes:

- Macroporos: poros com diâmetro maior que $100\mu m$ (micrómetro). Sua principal característica é de aeração da matriz do solo e percolação da água durante o processo de infiltração.
- Microporos: poros com diâmetro menor que $30\mu m$ (micrómetro). São também denominados de poros capilares e atuam na retenção da água. Nestes poros, a água move-se com muita dificuldade.

Figura 2 - Matriz no solo



Fonte: Libardi (2005).

A variação no tamanho dos poros influencia diretamente no fluxo de ar e no coeficiente de permeabilidade do solo. Por esse motivo, solos com granulometria maior são mais permeáveis, já que apresentam altos valores de macroporosidade. Por outro lado, solos finos têm maior facilidade de armazenamento de água, devido à microporosidade (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

2.3 Coeficiente de permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade ou a condutividade hidráulica do solo expressa a facilidade com que a água percola das camadas mais externas para seu interior, através dos vazios e sob a ação da gravidade, sendo de extrema relevância na hidrologia, agricultura e preservação do ambiente.

Para Barcelos (1996), a capacidade de percolação da água através do solo está relacionada com a estrutura, a textura e a presença de cobertura vegetal. O mesmo tipo de solo, portanto, pode apresentar variações na capacidade de percolação, devido ao percentual de umidade e à presença ou não de camada compactada.

Em 1856, Darcy analisou o fluxo de água em filtros de areia, assim, introduziu a primeira equação empírica, hoje conhecida como Lei de Darcy:

$$Q = k \frac{h}{L} A$$

A relação entre h e L , conforme referida equação, é chamada de gradiente hidráulico, expresso pela letra i , logo:

$$Q = kiA$$

Em que q é a vazão, em m^3/s , k é a condutividade hidráulica e A é a área da seção analisada. A equação de Darcy é válida somente no escoamento laminar, ou seja, há uma relação linear entre o fluxo e o gradiente hidráulico.

De acordo com Dourado (2003), o coeficiente de permeabilidade é um parâmetro diretamente relacionado com o meio poroso e o fluido que infiltra pelos seus vazios. Isto é, para o mesmo líquido em solos diferentes, encontra-se k diferentes. A mesma análise é válida para fluidos distintos que percolam pelo mesmo solo. Na tabela 1, alguns valores típicos para K :

Tabela 1 - Valores típicos de coeficiente de permeabilidade

Solo	Coeficiente permeabilidade (m/s)
Argilas	$< 10^{-9}$
Siltes	$10^{-6} a 10^{-9}$
Areias argilosas	10^{-7}
Areias finas	10^{-5}
Areias médias	10^{-4}
Areias grossas	10^{-3}

Fonte: Sousa Pinto (2005).

2.4 Métodos para determinação da infiltração

Nesta seção transcorreremos a respeito do tema desenvolvido durante a pesquisa, buscando esclarecer os métodos de determinação da infiltração. São eles: simuladores de chuva, infiltrômetro de anel concêntrico e método da NBR 13969/97.

2.4.1 SIMULADORES DE CHUVA

Os simuladores de chuva são equipamentos que reproduzem precipitações de intensidade controlada, por simular situações típicas como ângulo e velocidade de impactos das gotas, intensidade e duração de precipitações intensas, tudo com a vantagem de serem utilizados a qualquer tempo (FIORIN, 2008).

Segundo Souza (2004), o simulador, demonstrado na figura 3 abaixo, é constituído por uma estrutura retangular, apoiada sobre quatro hastes reguláveis, na altura de 3 metros sobre a superfície do solo.

Na região central da estrutura há um bico aspersor, que em funcionamento oscila sobre uma área, isolada do restante da parcela por um delimitador, sendo que a quantidade de oscilações é controlada por um sistema mecânico.

A determinação da intensidade final é obtida pela regulação do sistema. Para tanto, é construído um delimitador de parcela com um metro de lado e com fundo em desnível, que é colocado sobre a parcela onde se faz a medição da quantidade de chuva que chega à superfície do solo.

Figura 3 - Simulador de chuva



Fonte: Agrisul (2016).

2.4.2 INFILTRÔMETRO DE ANEL CONCÊNTRICO

Os infiltrômetros de anéis concêntricos são mais utilizados que o simulador de chuva, tendo em vista a praticidade do manuseio e do transporte. Todavia, exigem grande quantidade de determinações para obter um resultado preciso (AVILA, 2014).

Freqüentemente, a taxa de infiltração é maior no infiltrômetro de anel quando comparado com simulador de chuvas, devido a uma lâmina de água sobre a superfície do solo, que colabora com o aumento do gradiente hidráulico. Além disso, não ocorre o encrostamento, pois não há impacto das gotas sobre a superfície do solo (BRANDÃO, 2003).

O Infiltrômetro, apresentado na figura 4, consiste basicamente em dois anéis concêntricos, de chapa metálica, com diâmetros de 15 e 40 centímetros, que são cravados na superfície do solo até uma profundidade de 15 centímetros.

Os dois cilindros são preenchidos simultaneamente com água, fazendo-se a medição, com auxílio de uma régua, da altura da lâmina de água no anel interno, em um intervalo de tempo pré-determinado.

O intuito do cilindro externo é evitar que a água do anel interno penetre lateralmente, prejudicando o resultado do ensaio. A altura da lâmina d'água nos dois anéis deve ser constante e com valor aproximado entre 10 a 15 centímetros.

Figura 4 - Kit de anéis concêntricos



Fonte: Soil Moisture (2009).

2.4.3 MÉTODO DA NBR 13969/97 TANQUES SÉPTICOS

Esta norma complementa e apresenta alternativas para o tratamento e disposição de efluente em tanques sépticos, viabilizando projetos de saneamento básico em áreas onde o sistema de tratamento de esgoto não oferece suporte. Além disso, em seu anexo apresenta o ensaio de infiltração que foi utilizado para a determinação da taxa de infiltração.

A determinação da taxa de infiltração do solo é fundamental para o dimensionamento de estruturas de disposição de efluente no solo, bem como de técnicas de manejo do solo. Assim, para determinar a capacidade de percolação dos solos, a NBR 13969/97, em seu anexo A.2, descreve os procedimentos abaixo.

a. O número de locais de ensaio deve ser de no mínimo 3 pontos, distribuídos aproximadamente, de modo a cobrir áreas iguais no local indicado para o campo de infiltração;

b. Com o trado de \varnothing 150 mm, escavar uma cava vertical, de modo que o fundo da cava esteja aproximadamente no mesmo nível previsto para fundos das valas;

c. Retirar os materiais soltos no fundo da cava e cobrir o fundo com cerca de 0,05 m de brita;

d. Encher a cava com água até a profundidade de 0,30 m do fundo e manter esta altura por pelo menos 4 h, completando com água na medida em que o nível. Este período deve ser prolongado para 12 h ou mais se o solo for argiloso. Tal etapa é considerada como preliminar para a saturação do solo;

e. Se toda a água inicialmente colocada infiltrar no solo dentro de 10 min, pode-se recomeçar o ensaio imediatamente;

f. Exceto para solo arenoso, o ensaio de percolação não deve ser feito por 30 h após o início da etapa de saturação do solo;

g. Determinar a taxa de percolação como a seguir: colocar 0,15 m de água na cava, acima da brita, cuidando-se para que durante todo o ensaio o nível da água não supere 0,15 m; - imediatamente após o enchimento, determinar o abaixamento do nível d'água na cava a cada 30 min (queda do nível) e, após cada determinação, colocar mais água para retornar ao nível de 0,15 m. O ensaio deve prosseguir até que se obtenha diferença de rebaixamento dos níveis entre as duas determinações sucessivas inferiores a 0,015 m, em pelo menos três medições. No solo arenoso, quando a água colocada se infiltra no período inferior a 30 min, o intervalo entre as

leituras deve ser reduzido para 10 min, durante 1 h. Nesse caso, o valor da queda a ser utilizado é aquele da última leitura;

h. Calcular a taxa de percolação para cada cava escavada, a partir dos valores apurados, dividindo-se o intervalo de tempo entre determinações pelo rebaixamento lido na última determinação;

i. O valor médio da taxa de percolação da área é obtido calculando-se a média aritmética dos valores das cavas;

j. O valor real a ser utilizado no cálculo da área necessária está especificado na tabela 2, disposta abaixo;

k. Obtém-se o valor da área total necessária para a área de infiltração dividindo-se o volume total diário estimado de esgoto (m^3/dia) pela taxa máxima de aplicação diária.

Tabela 2 - Conversão de valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial

Taxa de percolação min/m	Taxa máxima de aplicação diária m^3/m^2. dia
40	0,2
80	0,14
120	0,12
160	0,10
200	0,09
400	0,065
600	0,053
1200	0,037
1400	0,032
2400	0,024

Fonte: NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como objetivo determinar a capacidade de percolação da água no solo, por meio da coleta de dados concretos e quantificáveis, seguindo as recomendações da NBR 13969:1997 - Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Para isso, faz-se necessário determinar as propriedades físicas do solo, através de ensaios de caracterização estabelecidos pela ABNT, a qual prescreve as diretrizes para preparação das amostras de solo, massa específica dos grãos, análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade.

3.1 Caracterização da área de estudo

No decorrer deste tópico haverá a caracterização da área de estudo determinada, assim como suas coordenadas e pontos de análise.

3.1.1 ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE TOLEDO

O estudo foi elaborado no Aterro Sanitário Municipal de Toledo, município de Toledo, Estado do Paraná, Brasil. Suas coordenadas geográficas são: 24° 45' 01,37" de latitude sul, 53°48'16,22" de longitude oeste, a 461 m de altitude acima do nível do mar.

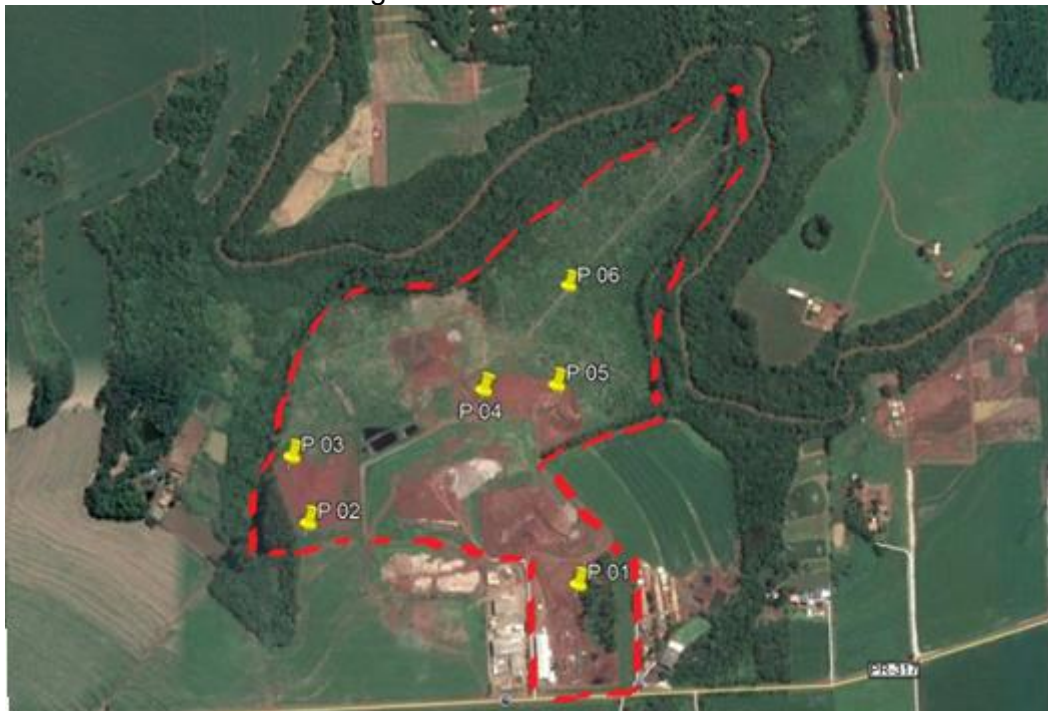
O ensaio foi realizado em seis pontos distintos, sendo que para cada ponto analisado foi retirada uma amostra de solo superficial. Nesse contexto, a tabela 3 fornece as coordenadas e a figura 5 mostra as limitações da área e os locais de coleta.

Tabela 3 - Coordenadas dos pontos de ensaios

Amostras	Coordenadas	
	S	O
P1	24° 44' 55"	53° 48' 15"
P2	24° 44' 51"	53° 48' 33"
P3	24° 44' 47"	53° 48' 34"
P4	24° 44' 43"	53° 48' 21"
P5	24° 44' 43"	53° 48' 16"
P6	24° 44' 37"	53° 48' 15"

Fonte: Autor (2020).

Figura 5 - Pontos de análise



Fonte: Autor (2020).

Os pontos demarcados no mapa foram determinados em áreas não ocupadas e com possíveis projetos de expansão. Vale ressaltar que nos pontos, P02 e P03, será a localização do futuro aterro da construção civil.

3.2 Caracterização do solo

Para a determinação do tipo de solo, foram realizados ensaios de acordo com as descrições das normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),

sendo elas: NBR 6457/2016 Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR 6459/2017 Solo – Determinação do limite de liquidez, NBR 7180/2016 Solo – Determinação do limite de plasticidade, NBR 7181 Solo – Análise Granulométrica e NBR 6548 - Determinação da massa específica.

3.2.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

A preparação das amostras foi executada conforme descrito na NBR 6457/2016. Tais amostras passaram pelo processo de secagem prévia, conforme a figura 6, até atingirem a umidade higroscópica de aproximadamente 3%. Em seguida, foram destorroadas e separadas as quantidades necessárias para cada ensaio.

Figura 6 - Amostra de solo



Fonte: Autor (2020).

3.2.2 UMIDADE DO SOLO

A determinação do teor de umidade também segue as recomendações da NBR 6457/2016. Os conjuntos de cápsulas vazias foram pesados e anotados como *M3*. Posteriormente, as amostras foram colocadas em cápsulas metálicas, pesando-se o conjunto e anotando-se como *M1* (massa do solo úmido mais cápsula metálica, em g).

Em seguida, o conjunto foi colocado na estufa, a uma temperatura de 105°C, onde permaneceu até constância de massa, em geral, 24 horas. Decorrido esse prazo, as cápsulas foram retiradas da estufa, com auxílio de uma pinça, e colocadas em um dissecador para resfriamento. Após o resfriamento, o conjunto foi novamente pesado, obtendo a massa do solo seco, anotando-se como *M2*.

3.2.3 MASSA ESPECÍFICA

Para a determinação da massa específica dos grãos, as amostras foram preparadas de acordo com a NBR 6458/2016. O material foi passado pela peneira de 4,8mm, retirando-se uma quantidade de 100 g de solo, anotado como *M1* para realização do ensaio. As amostras ficaram completamente imersas em água destilada, durante 12 horas, conforme figura 7, e com o restante do material foi efetuada a determinação da umidade.

Figura 7 - Amostra imersa em água destilada



Fonte: Autor (2020).

Seguindo as recomendações da NBR6458/2016, acrescentou-se mais água destilada e transferiu-se a amostra para o copo de dispersão, durante 15 minutos. A amostra foi cuidadosamente colocada no picnômetro, com auxílio do funil de vidro, tomando a precaução para evitar perdas. Adicionou-se água destilada até cerca de metade do volume do picnômetro. A seguir, para a retirada do ar, utilizou-se a bomba de vácuo, por aproximadamente 15 minutos, conforme figura 8. Após essa etapa, completou-se os picnômetros com água, até cerca de 1 centímetro abaixo da base do gargalo, e aplicou-se novamente a pressão a vácuo, durante o mesmo intervalo de tempo. Com o auxílio de uma pipeta, adicionou-se água destilada até a marca de calibração do picnômetro. Anotou-se a temperatura e o peso de solo + água + picnômetro como *M2*.

Figura 8 - Aplicação de vácuo no picnômetro



Fonte: Autor (2020).

A massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência foi anotada como *M3*. O ensaio foi repetido por, no mínimo, duas vezes por amostra, até que houvesse uma diferença inferior a 0,02, como indica a NBR 6458/2016.

3.2.4 LIMITE DE LIQUIDEZ

Para a realização dos ensaios de limite de liquidez, a NBR 6457/2016 recomenda coletar uma parte da amostra destorroada e homogeneizada, passando-a na peneira de abertura 0,42 mm, até se obter cerca de 200 g de material para cada amostra.

A NBR 6459/2017 também estabelece o método para determinação do limite de liquidez. Assim sendo, a amostra preparada foi colocada em um recipiente de porcelana, adicionando-se água destilada, e em seguida foi amassada com o auxílio de uma espátula, até atingir a consistência de uma pasta homogênea, demonstrada pela figura 9.

Figura 9 - Pasta homogênea



Fonte: Autor (2020).

A pasta foi transferida para o aparelho de Casagrande, moldando-a com uma espessura de 10 mm. Em seguida, foi dividida com um cinzel e a concha foi golpeada contra a base.

Anotaram-se os números de golpes necessários, cobrindo o intervalo de 45 a 15 golpes, para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13mm de comprimento, possibilitando a determinação da umidade. A massa foi recolocada

no recipiente de porcelana, acrescentando-se água destilada, ao que foi repetido o processo de homogeneização e golpes, até se obter pelos menos 5 pontos do ensaio.

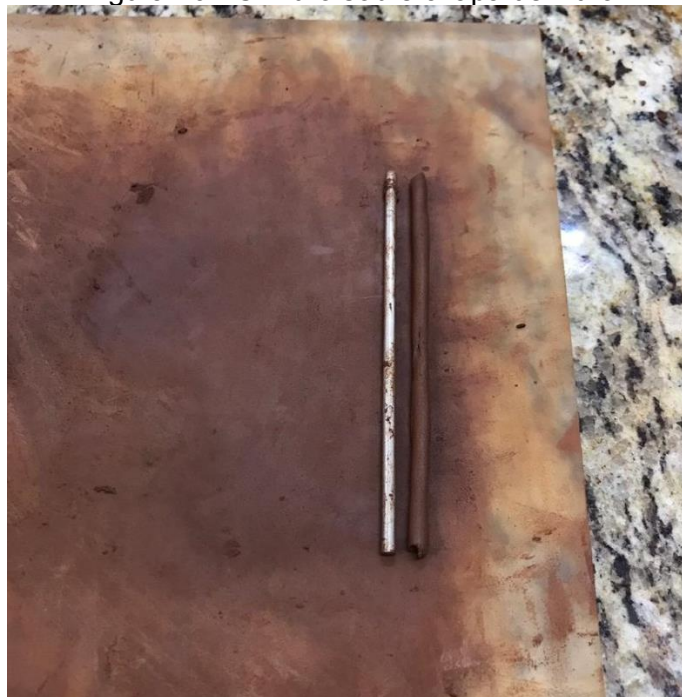
3.2.5 LIMITE DE PLASTICIDADE

Para a realização dos ensaios de limite de plasticidade, a NBR 6457/2016 recomenda a coleta de uma parte da amostra destorroada e homogeneizada, passando-a na peneira de abertura 0,42 mm, até se obter cerca de 200 g de material para cada amostra.

A NBR 7180/2016, estabelece o método para determinação do limite de plasticidade, por meio de ensaios e cálculo da umidade. A amostra preparada foi colocada em um recipiente de porcelana, adicionou-se água destilada, logo em seguida foi amassada com o auxílio de uma espátula até atingir a consistência de uma pasta homogênea.

Com aproximadamente 10 g da amostra preparada formou-se uma esfera, que foi rolada sobre uma placa de vidro com pressão constante da palma da mão, até se obter um cilindro, semelhante ao gabarito, com 3 mm de espessura e 100 mm comprimento, cilindro este exposto pela figura 10.

Figura 10 - Cilindro sobre chapa de vidro



Fonte: Autor (2020).

Quando o cilindro, com 3 mm de espessura e 100 mm comprimento, se fragmentou, conforme figura 11, foi transferido imediatamente para uma cápsula metálica, determinando-se sua taxa de umidade. A massa foi recolocada no recipiente de porcelana, acrescentando-se água destilada e repetindo-se o processo até obter três valores de umidade.

Figura 11 - Cilindro Fragmentado



Fonte: Autor (2020).

3.2.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para o ensaio de análise granulométrica, as amostras foram preparadas de acordo com a NBR 6457/2016. O material inteiro passou pela peneira de 76 mm, retirando-se uma quantidade de 1000 g, anotando-se como M_t para a realização do ensaio.

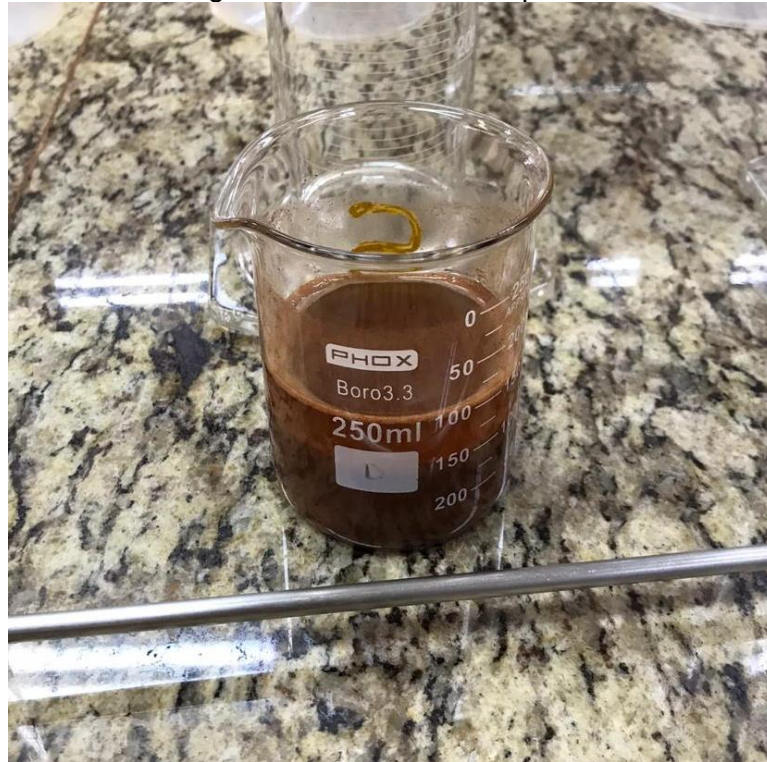
Em seguida, a amostra passou pela peneira de 2,0mm e a parte retida foi lavada, eliminando-se o material fino, sendo posteriormente secada em estufa a 105°C, por 24 horas, e usada, posteriormente, no peneiramento grosso.

Tomou-se cerca de 70 g de solo para os ensaios de sedimentação e peneiramento fino, anotando-se como M_w . Do restante do material, retirou-se 100 g de solo para a determinação da umidade.

De acordo com a NBR 7180/2016, transferiu-se M_w para um béquer, adicionando-se 125cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio (defloculante), ao

passo que o material foi mantido em imersão e em repouso, conforme mostrado na figura 12, por no mínimo 12 horas.

Figura 12 - Material em repouso



Fonte: Autor (2020).

Posteriormente, transferiu-se a amostra para o copo de dispersão e acrescentou-se mais água destilada, até que seu nível atingiu 5 centímetros abaixo das bordas do copo, quando então submeteu-se a amostra à ação do dispersor, durante 15 minutos.

Verteu-se a dispersão para a proveta, retirando-se todo o material aderido no copo com água destilada, com auxílio de uma bisnaga. Adicionou-se água destilada até atingir o traço corresponde a 1000cm^3 . A proveta foi agitada por 1 minuto, posteriormente, foram realizadas as leituras no densímetro e da temperatura, nos intervalos de tempo normatizados.

Após a última leitura, a solução (água + solo + hexametáfosfato de sódio) foi despejada na peneira de 0,075 mm e lavada com água corrente. O material retido na peneira foi transferido para uma cápsula metálica e levado para uma estufa a 105°C , devido as recomendações da NBR 7180/2016, até o material atingir a constância.

Para o peneiramento fino, o material retido na peneira de 0,075 mm, após

secagem, foi passado nas peneiras de abertura 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, utilizando-se um agitador mecânico, tomando nota das massas retidas em cada peneira.

Para o peneiramento grosso, o material retido na peneira de 2,0 mm, após secagem, foi pesado e anotado como *Mg*. Em seguida, tal material foi passado nas peneiras de abertura 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm, utilizando-se de um agitador mecânico, tomando nota das massas retidas em cada peneira.

3.3 Ensaio de infiltração do solo (NBR 13969/97)

Para estimar coeficiente de permeabilidade do solo, foram realizados ensaios de infiltração, seguindo as orientações descritas na NBR 13969/97. Esta norma tem por objetivo a realização de três pontos de ensaio por local, porém, nessa pesquisa foram realizados apenas dois pontos de análise, havendo distância de 15 metros entre eles.

Com um trado manual de 15 centímetros de diâmetro foram escavadas cavas verticais, com 40 centímetros de profundidade. Em sequência, foram limpas e preenchidas com uma camada de 5 centímetros de pedra brita.

Posteriormente, iniciou-se a etapa preliminar do ensaio. O solo foi saturado, mantendo-se uma lâmina de água de 30 centímetros, pelo período de 4 horas, de acordo com a figura 13, sendo as cavas abastecidas sempre que detectado o desnível.

Figura 13 - Ensaio de infiltração



Fonte: Autor (2020).

Após a etapa de saturação, a lâmina de água ficou estabilizada na cota de 15 centímetros. Iniciou-se, então, o ensaio, realizando leituras com intervalos de 30 minutos, ao passo que, em seguida, as cavas foram novamente preenchidas com água, até a cota de quinze centímetros.

O ensaio prosseguiu até que foram obtidas as diferenças de rebaixamento dos níveis entre as duas determinações sucessivas inferiores a 1,5 centímetros em pelo menos três medições.

3.4 Ensaio de infiltração com anel concêntrico

O ensaio de infiltração com anel concêntrico é um método para determinar o coeficiente de permeabilidade no solo, muito utilizado por sua praticidade na execução. Consistem de dois anéis de PVC, um externo, com diâmetro de 30 centímetros, outro, interno com 15 centímetros de diâmetro, ambos com 40 centímetros de altura.

O experimento foi realizado na mesma localização do P1, indicado na figura 5, para o início do ensaio, o solo foi limpo e nivelado com o auxílio de uma enxada. Após a limpeza da superfície do terreno, os anéis foram cravados verticalmente de maneira

concêntrica. No anel interno foi aplicada uma camada de plástico para evitar a infiltração da água no solo antes do início das medições, conforme figura 14.

Figura 14 – Preparação do ensaio de infiltração com anéis concêntricos



Fonte: Autor (2020).

O anel externo tem como principal função reduzir a infiltração lateral da água, o mesmo foi preenchido com uma lâmina de água de 35 centímetros. Em seguida, o anel interno foi abastecido com uma lâmina de mesma altura que o anel externo, mostrado na figura 15.

Figura 15 - Ensaio de infiltração com anéis concêntricos



Fonte: Autor (2020).

Cada anel foi abastecido de uma maneira, no anel interno era sempre que a lâmina de água se aproximava de 11 centímetros, no externo, sempre que demonstrasse necessário. O ensaio durou aproximadamente 5 horas, prosseguiu até que as duas últimas medições se tornassem constantes.

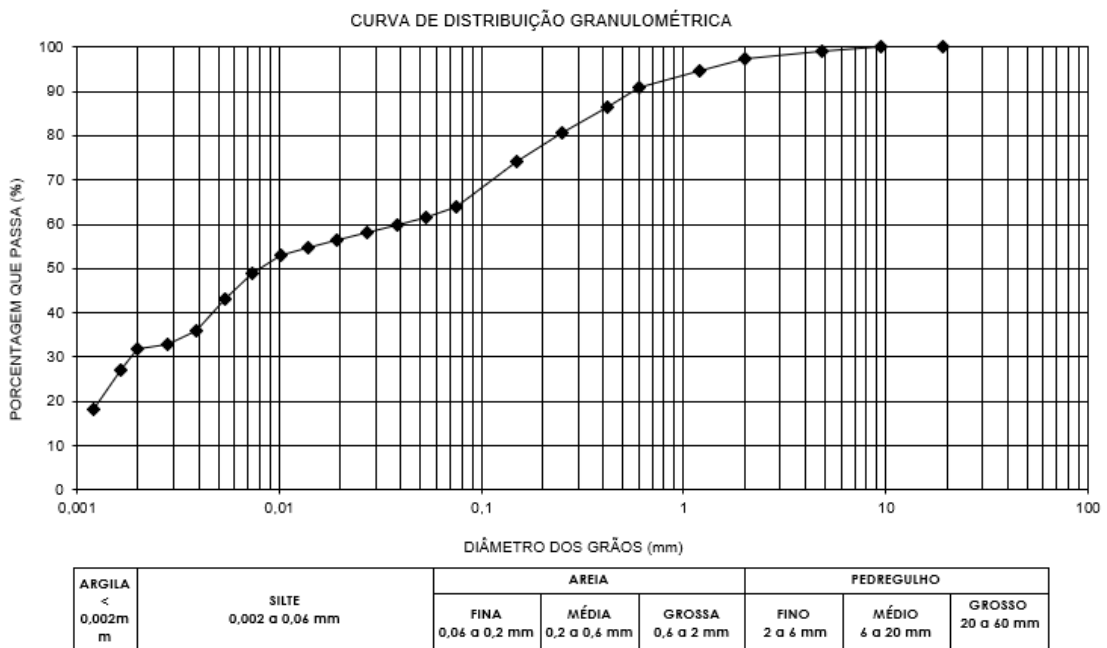
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de campo e laboratório, realizados a partir das amostras de solo coletadas, no Aterro Municipal de Toledo, são a seguir demonstrados, bem como, as curvas granulométricas, a densidade real dos grãos, o limite de plasticidade, o limite de liquidez e a capacidade de percolação do solo, que viabilizaram as conclusões adiante discutidas.

4.1 Curvas granulométricas

No primeiro ponto analisado, P1, observa-se que cerca de 63,9% do material apresentou diâmetro inferior a 0,075 mm, logo, conclui-se que a maior fração do solo é fina. Nota-se, ainda, que 31,8% do material é argila, ao passo que o restante da fração fina é constituído por silte, porção equivalente a 29,7%. Nessa amostra, cerca de 38,5% do solo é granular, sendo composto por 35,9% de areia (grossa, média e fina) e 2,6% de pedregulho (grosso, médio e fino). A figura 16 apresenta a curva granulométrica do P1.

Figura 16 - Curva granulométrica P1

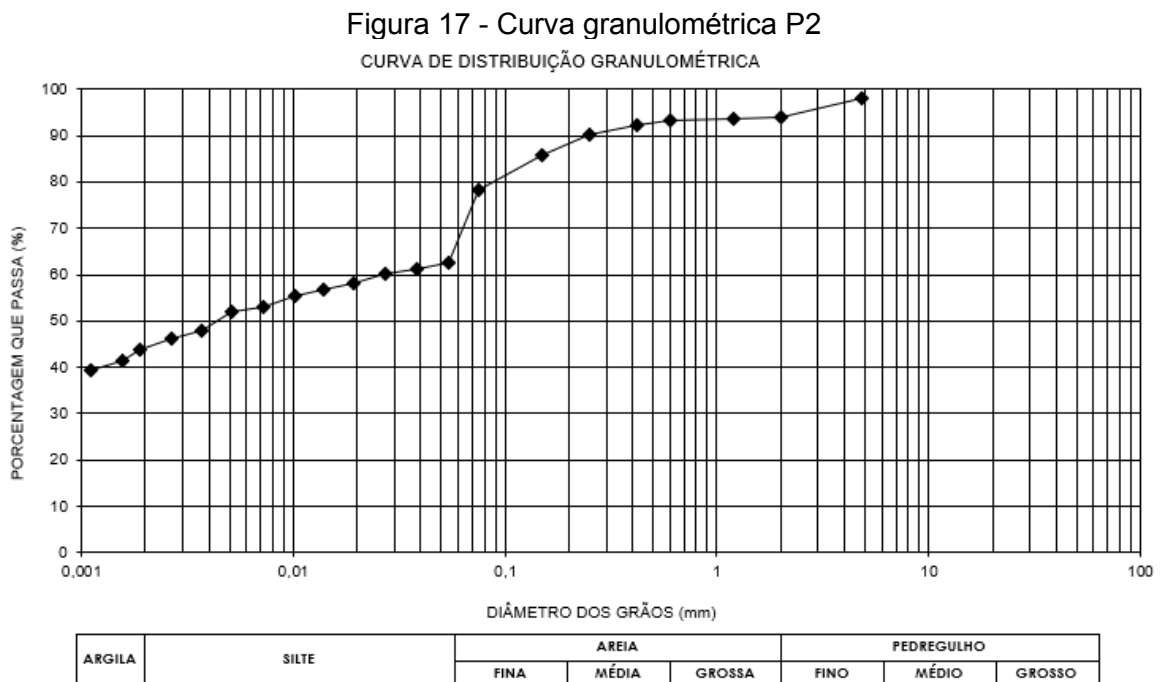


Fonte: Autor (2020).

Por sua vez, as amostras P2, P3 e P4 possuem curvas granulométricas semelhantes. Nelas, a parcela fina do solo corresponde, em média, a 60% de cada amostra. O P4 possui 35,3% de argila, valor inferior aos pontos P2 e P3, com 43,9 % e 44,8 % de argila, respectivamente.

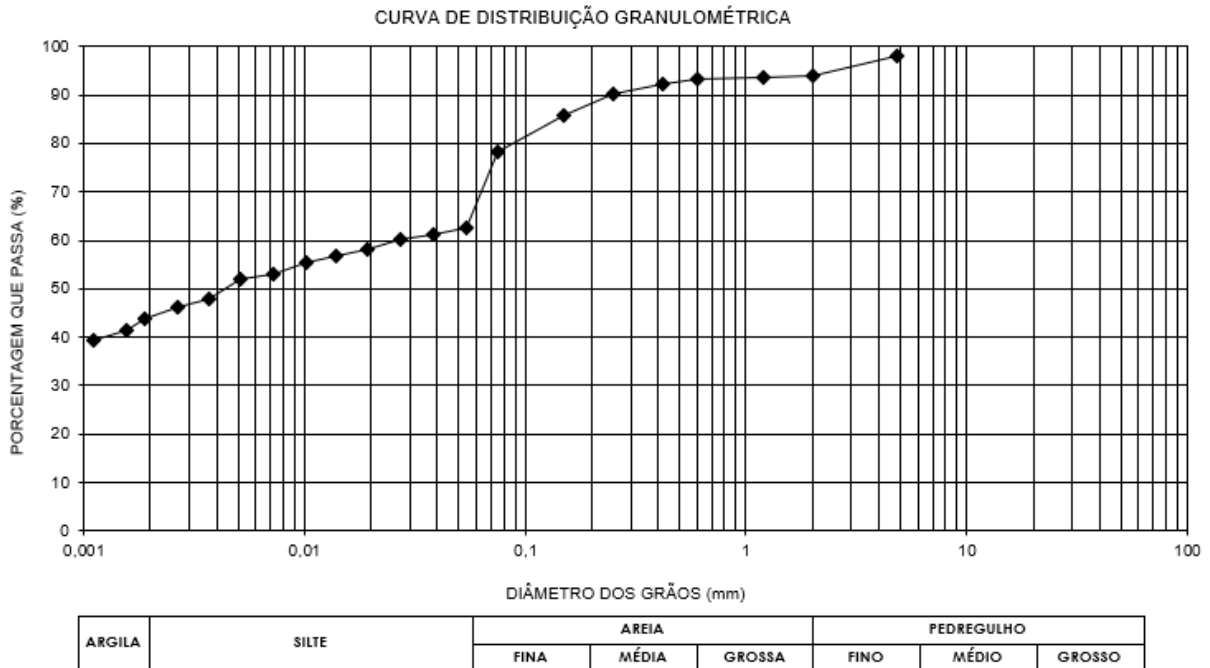
Em relação à parcela de silte, os valores encontrados em P2, P3 e P4 variam entre 20% e 25%. A amostra P4 apresenta a maior quantidade de solo granular, com 45% de solo grosso, sendo que 18,8% é pedregulho. Nos pontos P2 e P3, notou-se cerca de 30% de solo granular, sendo, respectivamente, 6 % e 9,5 % de pedregulho.

As curvas granulométricas das amostras P2, P3 e P4 são apresentadas abaixo, nas figuras 17, 18 e 19, respectivamente.



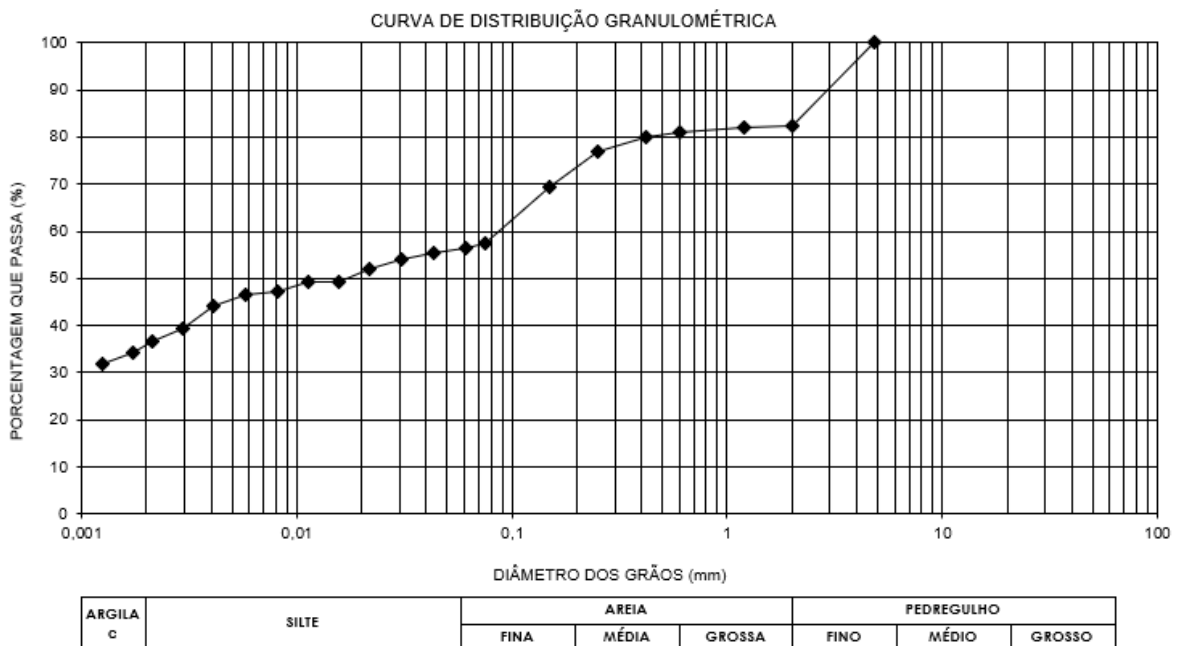
Fonte: Autor (2020).

Figura 18 - Curva granulométrica P3



Fonte: Autor (2020).

Figura 19 - Curva granulométrica P4

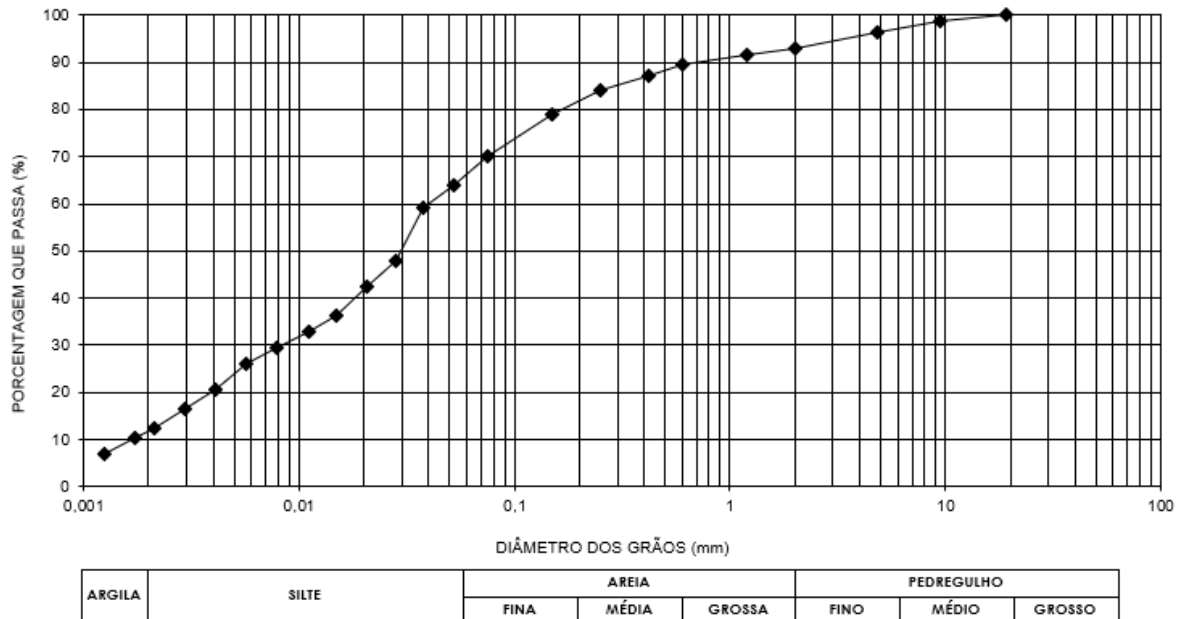


Fonte: Autor (2020).

A seguir, a figura 20 representa a curva granulométrica da amostra P5. Notou-se cerca de 56% de silte, 12% de argila, 25% de areia e 7% de pedregulho. Possui, portanto, valores de areia e pedregulho semelhantes ao restante das amostras. Entretanto, difere-se por ser o único solo composto por mais de 50% de silte.

Figura 20 - Curva granulométrica P5

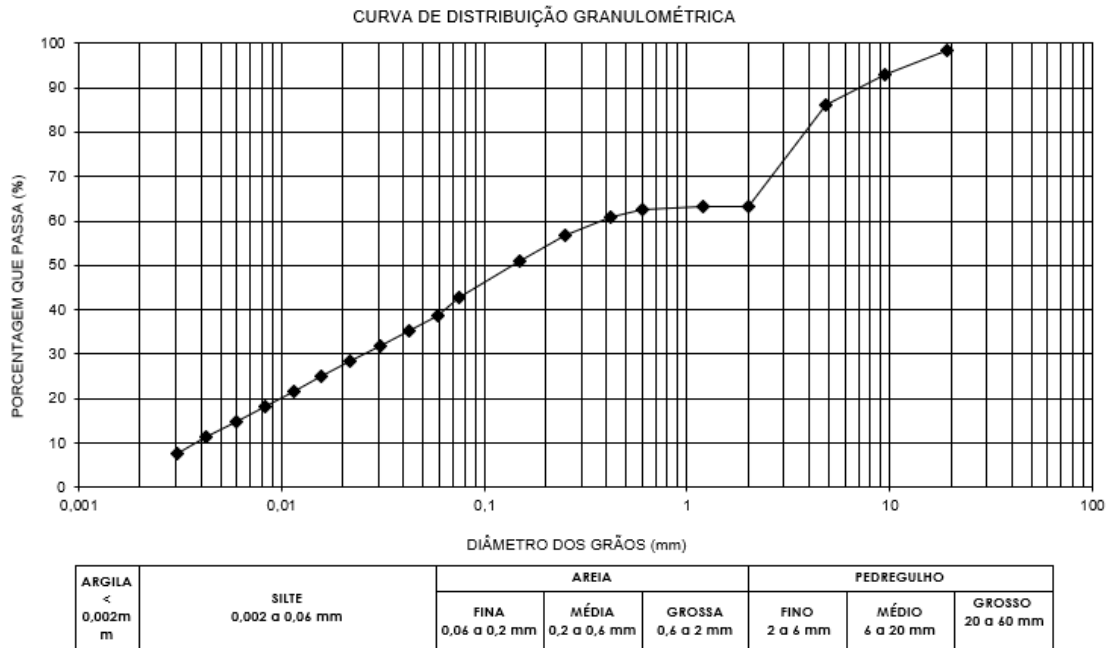
CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



Fonte: Autor (2020).

Na amostra P6, notou-se cerca de 61% de solos granulares, 36,6% de pedregulho, 24,4% de areia, 39% de silte e nenhuma fração de argila, a única do conjunto de seis ensaios que possui menos de 50% de solos finos e quatorze vezes mais pedregulho que a amostra P1. Na figura 21, demonstra-se a curva granulométrica do ensaio P6.

Figura 21 - Curva granulométrica P6



Fonte: Autor (2020).

A tabela 4 é um resumo dos ensaios de caracterização física (análise granulométrica, densidade real dos grãos, limite de plasticidade e limite de liquidez). Os relatórios dos ensaios de granulometria e limites de plasticidade e liquidez são exemplificados, respectivamente, nos apêndices A e B.

Tabela 4 - Resumo dos ensaios de caracterização do solo

Amostra	P01	P02	P03	P04	P05	P06
Profundidade (m)	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Limite de liquidez	78	50	72	67	64	55
Limite de plasticidade	40	29	46	38	41	49
Índice de plasticidade	38	21	26	29	23	6
Massa espec. dos grãos (g/cm³)	2,56	2,75	2,61	2,51	2,68	2,65
Granulometria Pedregulho (%)	2,6	6,0	8,5	18,8	7,0	36,6
Areia (%)	35,9	29	26,1	26,4	25,0	24,4
Silte (%)	29,7	21,1	20,7	19,6	56,0	39
Argila (%) (<0,002mm)	31,8	43,9	44,8	35,3	12,0	0,0

Fonte: Autor (2020).

O índice de plasticidade foi determinado através da diferença entre os valores obtidos no ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade. Basicamente, esse índice representa o teor de umidade a ser conferido a um solo, para que ele passe do estado plástico ao líquido.

Na amostra P6 os valores de limite de liquidez e plasticidade são semelhantes aos outros ensaios, contudo, notou-se um índice de plasticidade inferior a 7, o que, de acordo com literatura, é associado a solos de baixa plasticidade.

No restante das amostras, os valores encontrados para o índice foram superiores a 15, logo, correspondem a solos altamente plásticos, isso porque nas argilas, quanto maior o valor do índice de plasticidade, mais compressível é o solo.

4.2 Ensaio de infiltração

A NBR 13969/97, estabelece que os cálculos sejam obtidos através da média aritmética do último registro de cada cava, porém, os ensaios foram realizados logo após a etapa de saturação, com isso, os valores das últimas medições eram equivalentes.

Buscando uma melhor interpretação dos dados, procedeu-se ao cálculo capaz de definir a média aritmética de todas as medições realizadas após a etapa preliminar (saturação). No apêndice C, expõem-se todos os quadros com os resultados dos ensaios.

A taxa de percolação, na NBR 13969/97, corresponde à divisão do tempo pela lâmina d'água infiltrada. A tabela 5 é um resumo dos valores obtidos através do ensaio de infiltração.

Tabela 5 - Taxa de Percolação

Taxa de Percolação
(min/m)

Pontos	A	B	Média
P1	1178,16	815,91	997,04
P2	1157,28	1021,97	1089,62
P3	1075,51	857,01	966,26
P4	1083,65	1115,85	1099,75
P5	1168,12	879,53	1023,83
P6	797,59	752,52	775,05
Média Total			991,92

Fonte: Autor (2020).

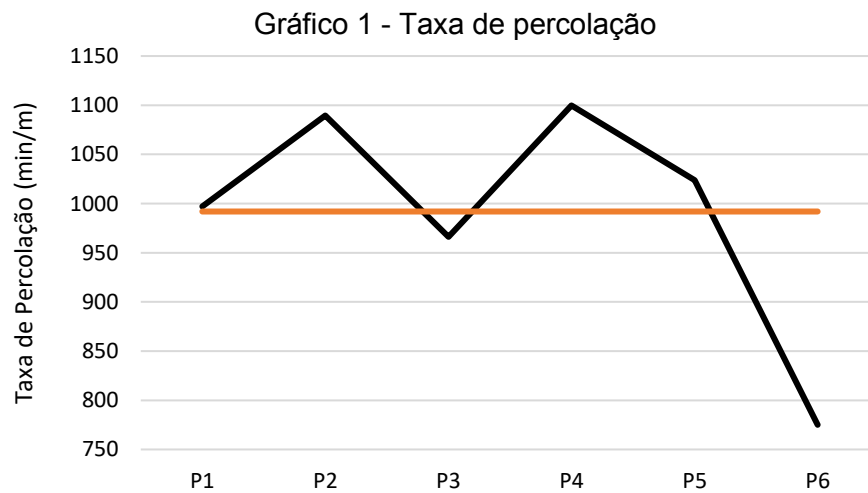
Nota-se que para o P1, são necessários 997 minutos, aproximadamente 17 horas, para que seja infiltrado 1 metro de lâmina d'água, possuindo um coeficiente de permeabilidade de $1,67 * 10^{-7}$ cm/s. No anexo A da norma 13969/97, é possível converter a taxa de percolação em taxa de aplicação superficial do solo, com os valores da tabela 2. Assim sendo, através de uma interpolação, a taxa de aplicação superficial obtida foi de 42,54 l/m².dia. Comparando-se o coeficiente de permeabilidade aos valores na tabela 1, classifica-se tal amostra como de baixa permeabilidade.

A tabela 6 apresenta os coeficientes de permeabilidade. Os gráficos demonstrativos 1 e 2 representam, respectivamente, a variação da taxa de percolação e do coeficiente de permeabilidade.

Tabela 6 - Coeficiente de Permeabilidade
**Coeficiente de
 permeabilidade (cm/s)**

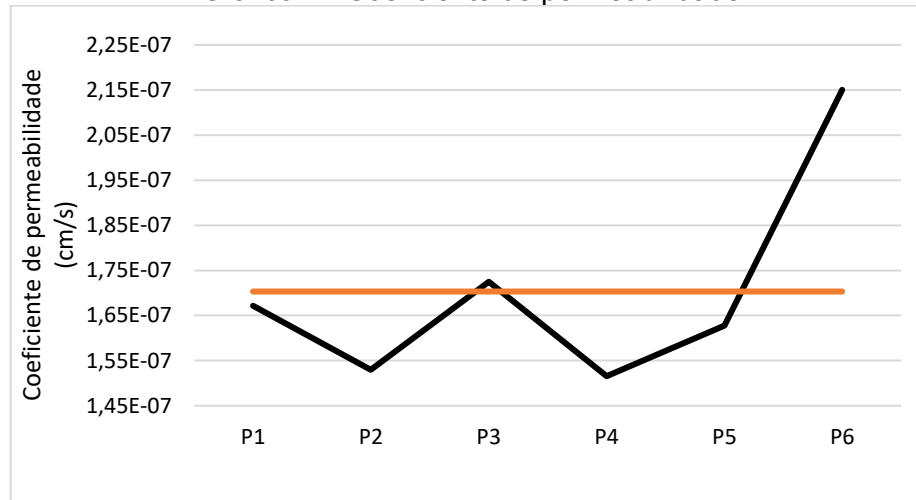
Pontos	Média
P1	1,67162E-07
P2	1,52958E-07
P3	1,72487E-07
P4	1,51549E-07
P5	1,62788E-07
P6	2,15039E-07
Média	
Total	1,70331E-07

Fonte: Autor (2020).



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 2 - Coeficiente de permeabilidade

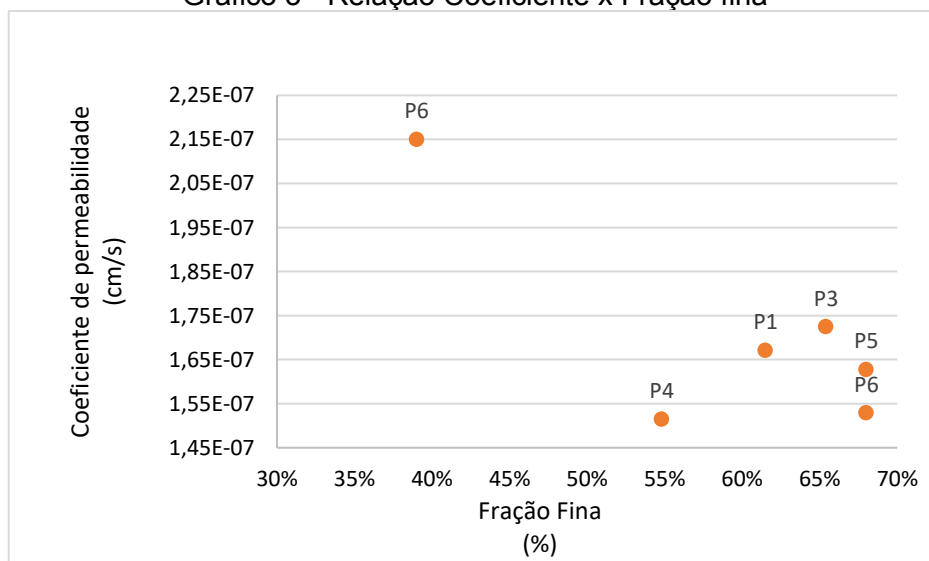


Fonte: Autor (2020).

Nos ensaios P2, P3, P4 e P5, os resultados obtidos são similares aos encontrados no P1. Os coeficientes de permeabilidade obtidos foram na ordem de 10^{-7} cm/s. Destaca-se que o P6 apresenta o maior coeficiente de permeabilidade, $2,15 * 10^{-7}$ cm/s, valor diferente ao encontrado nas outras amostras, com pequena variação justificável pela fração granular existente.

O gráfico 3, por sua vez, expõe a correlação entre o coeficiente de permeabilidade e a fração fina. Nota-se uma redução gradual no valor do coeficiente de permeabilidade com a elevação dos finos.

Gráfico 3 - Relação Coeficiente x Fração fina



Fonte: Autor (2020).

4.3 Ensaio de infiltração com anel concêntrico

O ensaio do infiltrômetro de anel concêntrico foi realizado na mesma localização do P1. Constam à tabela 7 o resumo dos dados do ensaio, tal qual o tempo, a infiltração acumulada, a taxa de percolação e o coeficiente de permeabilidade. A metodologia dos cálculos seguiu os padrões da NBR 13969/97, sendo assim, os valores foram obtidos através de uma média aritmética de todas as medições realizadas. No apêndice C, expõem-se todos os quadros com os resultados do ensaio.

Tabela 7 – Resumo do ensaio de infiltração com anel concêntrico

Tempo (min)	Infiltração Acum. (cm)	Taxa de Percolação (mim/m)	Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
300	51,1	475,76	3,5032E-07

Fonte: Autor (2020).

Nota-se que o coeficiente de permeabilidade obtido é igual a $3,5 * 10^{-7}$ cm/s, assim, convertendo esse valor para taxa de aplicação superficial, obteve-se o resultado de 60,4 l/m².dia, aproximadamente, 42% maior que a média obtida no ensaio anterior. A diferença entre os resultados obtidos pode ser justificada pela ausência da etapa de saturação do solo neste último, embora manteve-se a característica de solo constatada no teste anterior, ou seja, a baixa permeabilidade.

5 CONCLUSÃO

O propósito dessa pesquisa foi determinar o coeficiente de permeabilidade do solo. Para isso, foram realizados ensaios de densidade real dos grãos, de limite de liquidez, de limite de plasticidade, de granulometria com sedimentação e de infiltração.

De acordo com os referidos ensaios, a região do Aterro Municipal de Toledo possui solo predominantemente argiloso ou siltoso e mesmo havendo elevada variação nos diâmetros do solo dessa localização, suas características são homogêneas, pois a maior fração dos grãos possui granulometria similar. Essas semelhanças ficam mais evidentes quando comparadas aos resultados encontrados nos ensaios de infiltração da NBR 13969/97.

De maneira geral, os ensaios mostraram resultados satisfatórios, apresentando um coeficiente de permeabilidade médio de $1,70 * 10^{-7}$ cm/s. Para o ensaio da NBR 13969/97, a taxa de aplicação superficial média foi de 42,54 l/m².dia, enquanto obteve-se o coeficiente de $3,5 * 10^{-7}$ cm/s com taxa de aplicação superficial média de 60,4 l/m².dia no ensaio de anel concêntrico, comprovando a baixa permeabilidade do solo.

Analisando os resultados obtidos, a diferença entre a taxa de aplicação superficial, em relação à média do ensaio da NBR 13969/97 e o anel concêntrico, foi de aproximadamente 42%, o mesmo valor apresentado quando comparado com o ensaio P1, que foi realizado na mesma localização.

Como a NBR 13969/97 não determina um intervalo de tempo entre a etapa preliminar e o início do ensaio, foi estabelecido que as medições iniciariam logo após a saturação. Além disso, o ensaio de anel concêntrico teve duração de 5 horas, enquanto os outros ensaios tiveram duração mínima de 7 horas. Assim, considera-se que ao decorrer do ensaio o solo elevou, gradativamente, seu grau de saturação, justificando a baixa permeabilidade.

Considerando que o índice de plasticidade representa a compressibilidade do solo e analisando-se os resultados obtidos no P6, fica evidente que esse parâmetro é inversamente proporcional ao coeficiente de permeabilidade. Sobretudo, esse resultado é pouco expressivo, devido à quantidade da amostra.

A partir de todos os dados analisados, conclui-se que há coerência e, independente do ensaio de infiltração, as características do solo foram imprescindíveis para determinar a baixa permeabilidade no solo da região do Aterro Sanitário Municipal de Toledo.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a realização de um ensaio de infiltração, sem a etapa preliminar (saturação), e em profundidades maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm, determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT. 1997.

AVILA, B. C. **Variação da infiltração devido a alterações de uso do solo**: estudo de caso de implantação de floresta em bioma pampa. 2014. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8749/AVILA%2C%20CALINCA%20BARAO%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 ago. 2020.

BAPTISTA, L. F. S; GONÇALVES, M. L; RIBEIRO. R. A. **O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização**. Fórum Ambiental da Alta Paulista, [s. l.], SP, v. 12, n. 1, 92-106, 2016. ISSN 1980-0827. DOI 10.17271/19800827. Disponível em:
http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1366/1388. Acesso em: 24 ago. 2020.

BARCELOS, A. A. **Infiltração de água em um latossolo, sob chuva de alta intensidade, em diferentes sistemas de manejo**. 1996. 127p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BRANDÃO, V. S. **Infiltração de água em solos sujeitos a encrostamento**. 2003. 83p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9589>. Acesso em: 24 ago. 2020.

CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso: 24 ago. 2020.

DOURADO, K. A. **Condutividade hidráulica de materiais de baixa permeabilidade**: desenvolvimento, construção e teste de um sistema de medida. 2003. 96p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em:
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-02042007-155703/pt-br.php>. Acesso em: 24 ago. 2020.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116p. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/3309>. Acesso em: 24 ago. 2020.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo, SP: Blucher, 1988. 291p. ISBN 8521201699.

GLOAGUEN, R. A. B. G. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físico-hídricas de um latossolo**. 2005. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. DOI: 10.11606/T.11.2005.tde-27012006-154308. Acesso em: 24 ago. 2020.

KLUSENER, L. C. F. **Pós-Tratamento de efluente de filtro anaeróbio utilizando o método de escoamento superficial no solo: avaliação de taxas de aplicação**. 2001. 77p. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257922>. Acesso em: 24 ago. 2020.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p. (Acadêmica ; 61). ISBN 85-314-0756-7.

LUCAS, H. A. *et al.* **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, v. 20, n. 1, p. 17-28, jan./mar, 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020000079923.

OLIVEIRA, M.B. *et al.* **Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ**. 2005. 220p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17842/1/oliveira_et_al_vi_srrh_2004.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

OLIVEIRA, M.C. **Efeito da aplicação de água residuária de graxaria em elementos químicos do solo e na produção e composição mineral de duas espécies forrageiras**. 2014. 48p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/121999>. Acesso em: 24 ago. 2020.

OTTONI, M, V. **Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração**. 2005. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:

<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/301>. Acesso em: 24 ago. 2020.

PAGANINI, W.S. **Reuso da água na agricultura**. Editora USP: Manoele, São Paulo, 2003. 330 p.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**: em 16 aulas. 3. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, c2006. 355 p. ISBN 9788586238512.

PINTO, N. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo, SP: Blucher, 1976. 278p.

MESQUITA, G. B. F.; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. Ciência Rural, Santa Maria, RS, v. 34, n. 3, p. 963-969, mai-jun, 2004. ISSN 0103-8478. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v34n3/a52v34n3.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Manoele, 2004. 478 p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS: Centro de Ciências Rurais, Departamento de Solos, 2006. 18 p.

RIBAS, T. B. C. **Disposição no solo de efluente de esgoto tratado visando a redução de coliformes termotolerantes**. 2008. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade de Taubaté, Taubaté, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/942>. Acesso em: 24 ago. 2020.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 2018.

SOIL MOISTURE. **Model 2830K1 double ring infiltrometer kit: operating instructions**. 2009. Disponível em: <http://www.soilmoisture.com/catalog/soilperm.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2020.

SOUZA, M. D. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2004. 20 p. ISSN 1516-4691.

APÊNDICE A – DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - NBR 6457/2016

P01		
Massa do solo(g)	100,22	102,52
Massa Picnômetro + Solo + água (g)	1224,38	1225,82
Massa Picnômetro + água (g)	1163,21	1172,15
Umidade	0,035	0,032
Temperatura (C°)	22,00	22,00
Massa espec. da água	0,9977	0,9977
Massa espec. dos grãos (g/cm ³)	2,562	2,5643
Massa espec. dos grãos médios (g/cm ³)	2,563	
P02		
Massa do solo(g)	100,28	101,74
Massa Picnômetro + Solo + água (g)	1238,25	1242,42
Massa Picnômetro + água (g)	1174,32	1158,78
Umidade	0,034	0,040
Temperatura (C°)	22,00	22,00
Massa espec. da água	0,9977	0,9977
Massa espec. dos grãos (g/cm ³)	2,754	2,7538
Massa espec. dos grãos médios (g/cm ³)	2,754	
P03		
Massa do solo(g)	100,03	101,45
Massa Picnômetro + Solo + água (g)	1239,97	1238,47
Massa Picnômetro + água (g)	1178,21	1168,54
Umidade	0,032	0,039
Temperatura (C°)	22,00	22,00
Massa espec. da água	0,9977	0,9977
Massa espec. dos grãos (g/cm ³)	2,609	2,6120
Massa espec. dos grãos médios (g/cm ³)	2,611	

P04		
Massa do solo(g)	100,12	103,4
Massa Picnômetro + Solo + água (g)	1229,43	1234,45
Massa Picnômetro + água (g)	1169,13	1172,15
Umidade	0,032	0,032
Temperatura (C°)	22,00	22,00
Massa espec. da água	0,9977	0,9977
Massa espec. dos grãos (g/cm ³)	2,510	2,5113
Massa espec. dos grãos médios (g/cm ³)	2,511	
P05		
Massa do solo(g)	100,82	104,57
Massa Picnômetro + Solo + água (g)	1231	1224,32
Massa Picnômetro + água (g)	1167,8	1158,78
Umidade	0,042	0,040
Temperatura (C°)	22,00	22,00
Massa espec. da água	0,9977	0,9977
Massa espec. dos grãos (g/cm ³)	2,676	2,6748
Massa espec. dos grãos médios (g/cm ³)	2,675	
P06		
Massa do solo(g)	100,77	101,12
Massa Picnômetro + Solo + água (g)	1228,31	1231,62
Massa Picnômetro + água (g)	1165,42	1168,54
Umidade	0,040	0,039
Temperatura (C°)	22,00	22
Massa espec. da água	0,9977	0,9977
Massa espec. dos grãos (g/cm ³)	2,656	2,6539
Massa espec. dos grãos médios (g/cm ³)	2,655	

APÊNDICE B – LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180

SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

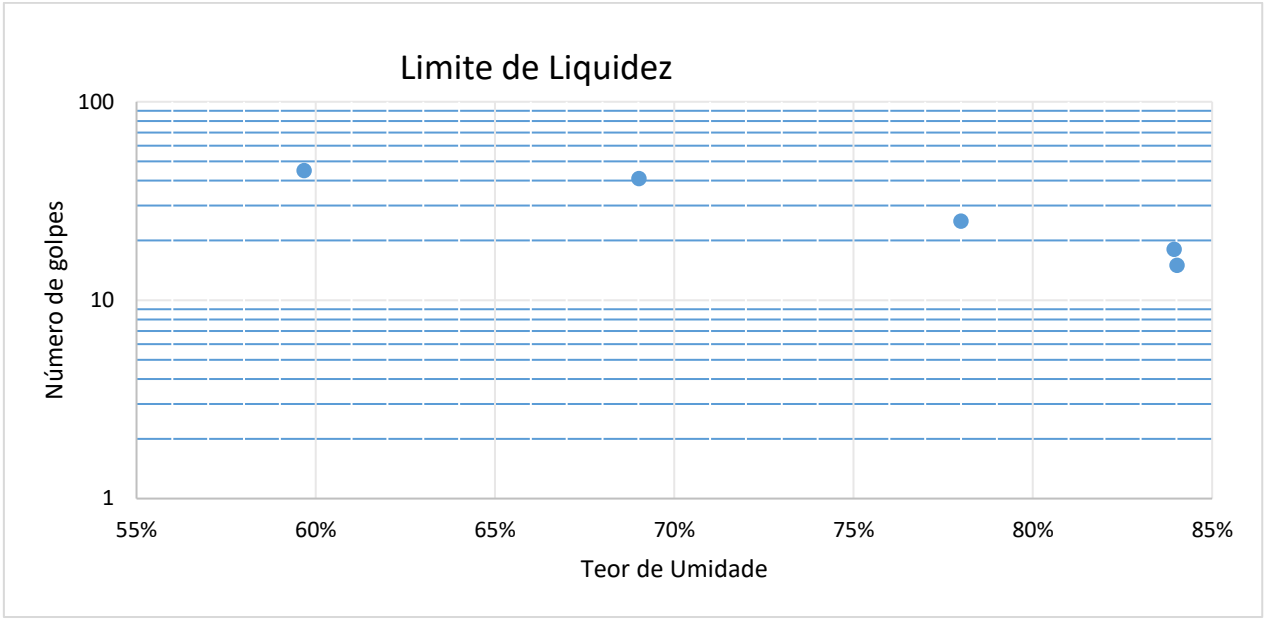
AMOSTRA: P1

ENSAIOS FÍSICOS

	Limite de liquidez				Limite de Plasticidade		
	1	53	S9	S17	29	87	99
Cápsula nº							
Solo Úmido (g)	40,31	12,37	34,12	26,8	6,44	5,53	6,90
Solo seco (g)	34,82	9,63	27,01	21,91	6,31	5,40	6,78
Massa da cápsula (g)	25,62	5,66	18,54	16,09	5,98	5,08	6,45
Massa do solo seco (g)	9,2	3,97	8,47	5,82	0,33	0,32	0,33
Massa da água (g)	5,49	2,74	7,11	4,89	0,13	0,13	0,13
Teor de Umidade (%)	59,67	69,02	83,94	84,02	39,39	40,62	38,46
Número de Golpes	45	41	18	15			

RESUMO DO ENSAIO

LL	LP	IP
78	40	38



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

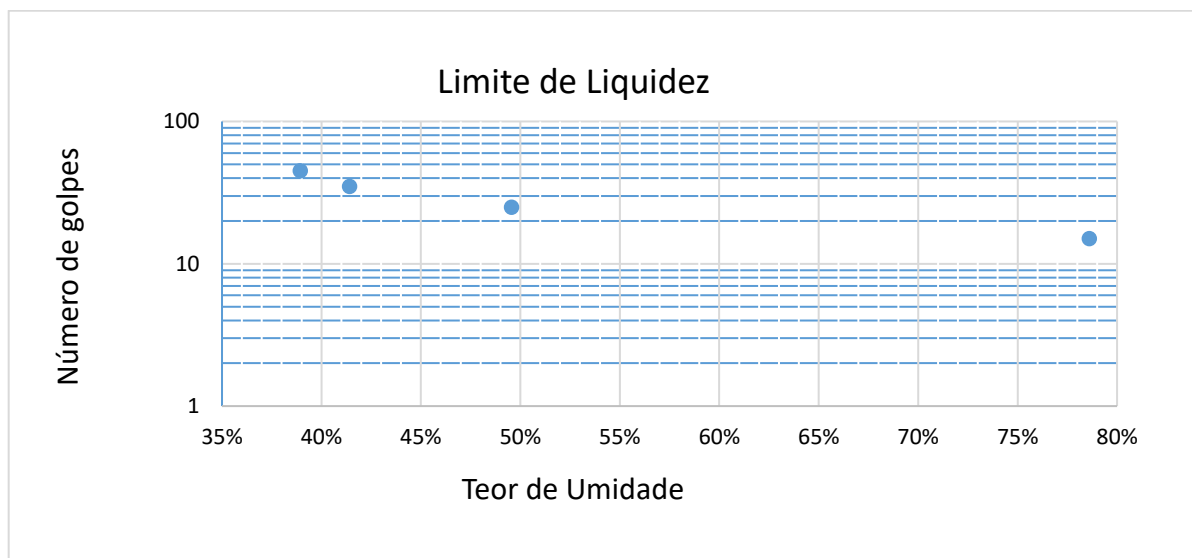
AMOSTRA: P2

ENSAIOS FÍSICOS

	Limite de liquidez				Limite de Plasticidade			
Cápsula nº	97	22	56	1	3	110	97	
Solo Úmido (g)	14,12	15,64	17,61	16,21	5,22	7,25	6,44	
Solo seco (g)	11,85	12,62	13,66	11,8	5,15	7,16	6,34	
Massa da cápsula (g)	6,02	5,33	5,69	6,19	4,9	6,84	6	
Massa do solo seco (g)	5,83	7,29	7,97	5,61	0,25	0,32	0,34	
Massa da água (g)	2,27	3,02	3,95	4,41	0,07	0,09	0,10	
Teor de Umidade (%)	38,94	41,43	49,56	78,61	28,00	28,51	29,41	
Número de Golpes	45	35	25	15				

RESUMO DO ENSAIO

LL	LP	IP
50	29	21



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

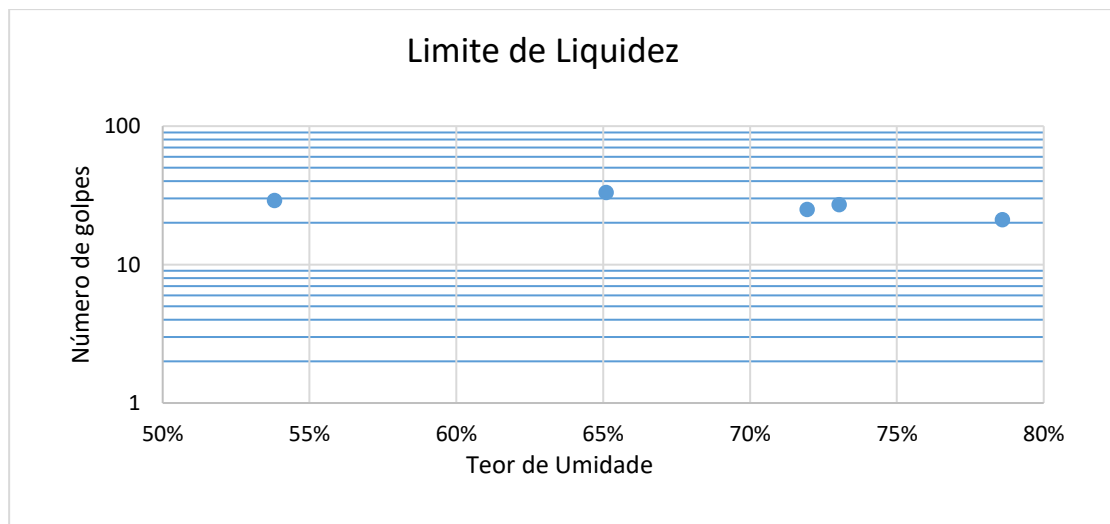
AMOSTRA: P3

ENSAIOS FÍSICOS

	Limite de liquidez					Limite de Plasticidade		
	2	5	10	12	25	45	104	53
Cápsula nº								
Solo Úmido (g)	22,96	18,84	21,5	21,44	18,87	6,15	6,49	6,00
Solo seco (g)	16,58	14,18	15	14,43	12,56	6,04	6,31	5,88
Massa da cápsula (g)	6,78	5,52	6,1	5,51	5,08	5,8	5,91	5,62
Massa do solo seco (g)	9,8	8,66	8,9	8,92	7,48	0,24	0,4	0,26
Massa da água (g)	6,38	4,66	6,5	7,01	6,31	0,11	0,18	0,12
Teor de Umidade (%)	65,10	53,81	73,03	78,59	84,36	45,83	45,00	46,15
Número de Golpes	33	29	27	21	18			

RESUMO DO ENSAIO

LL	LP	IP
72	46	26



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

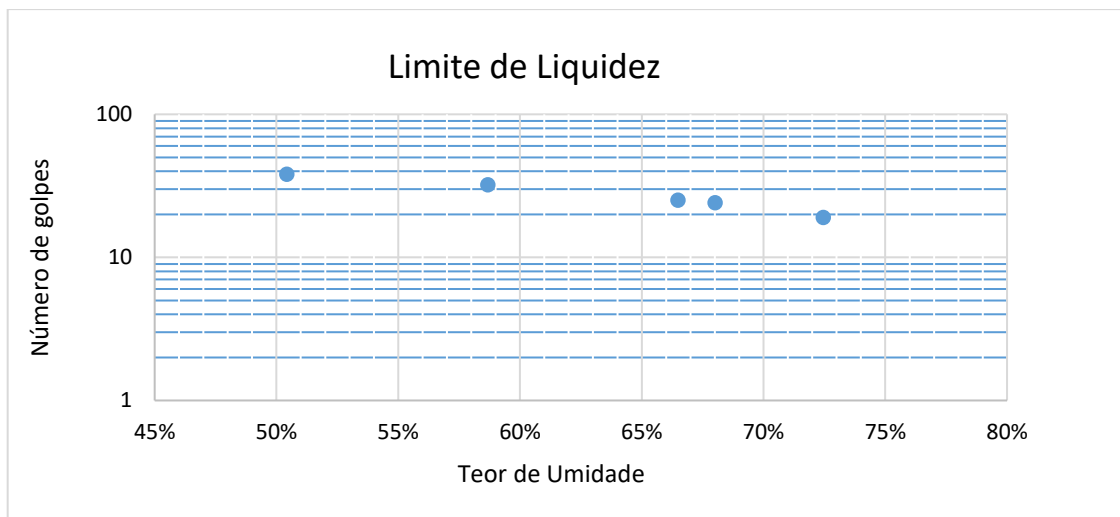
AMOSTRA: P4

ENSAIOS FÍSICOS

	Limite de liquidez					Limite de Plasticidade		
Cápsula nº	99	6	1	121	95	82	102	22
Solo Úmido (g)	15,11	17,9	15,53	14,43	14,86	5,85	7,18	5,72
Solo seco (g)	12,21	13,1	11,8	11,39	10,73	5,77	7,07	5,61
Massa da cápsula (g)	6,46	4,92	6,19	6,92	5,03	5,56	6,77	5,32
Massa do solo seco (g)	5,75	8,18	5,61	4,47	5,7	0,21	0,3	0,29
Massa da água (g)	2,9	4,8	3,73	3,04	4,13	0,08	0,11	0,11
Teor de Umidade (%)	50,43	58,68	66,49	68,01	72,46	38,10	36,67	37,93
Número de Golpes	38	32	25	24	19			

RESUMO DO ENSAIO

LL	LP	IP
67	38	29



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

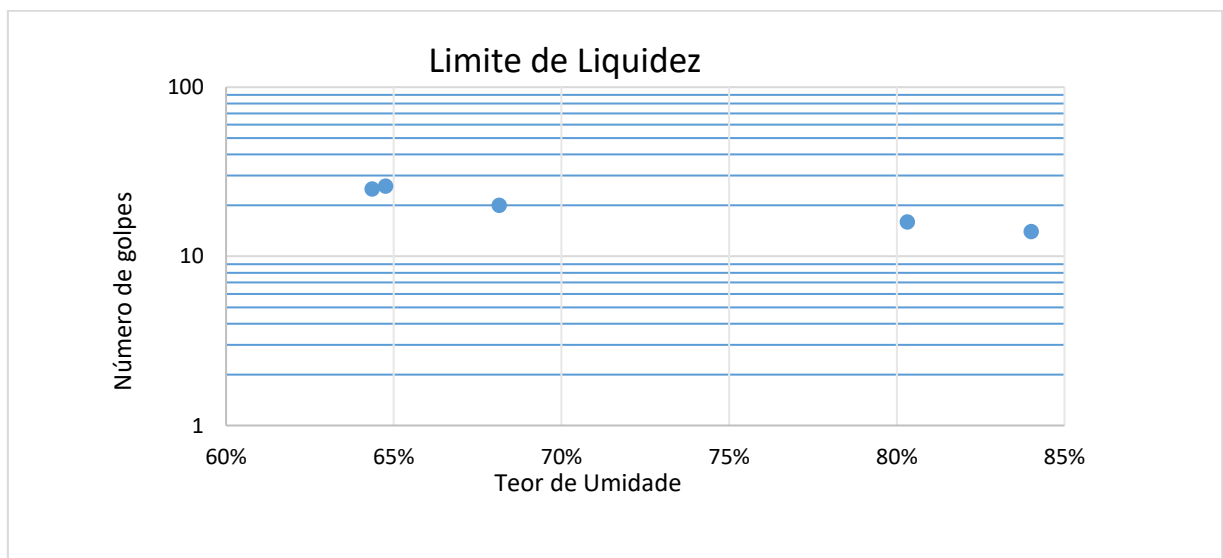
AMOSTRA: P5

ENSAIOS FÍSICOS

		Limite de liquidez				Limite de Plasticidade		
Cápsula nº	104	58	121	45	11	56	98	
Solo Úmido (g)	14,56	17,39	14,98	15,38	6,36	6,14	7,48	
Solo seco (g)	11,16	12,62	11,39	11,02	6,23	6,01	7,35	
Massa da cápsula (g)	5,91	5,62	6,92	5,83	5,9	5,69	7,04	
Massa do solo seco (g)	5,25	7	4,47	5,19	0,33	0,32	0,31	
Massa da água (g)	3,4	4,77	3,59	4,36	0,13	0,13	0,13	
Teor de Umidade (%)	64,76	68,14	80,31	84,01	39,39	40,63	41,94	
Número de Golpes	26	20	16	14				

RESUMO DO ENSAIO

LL	LP	IP
64	41	23



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

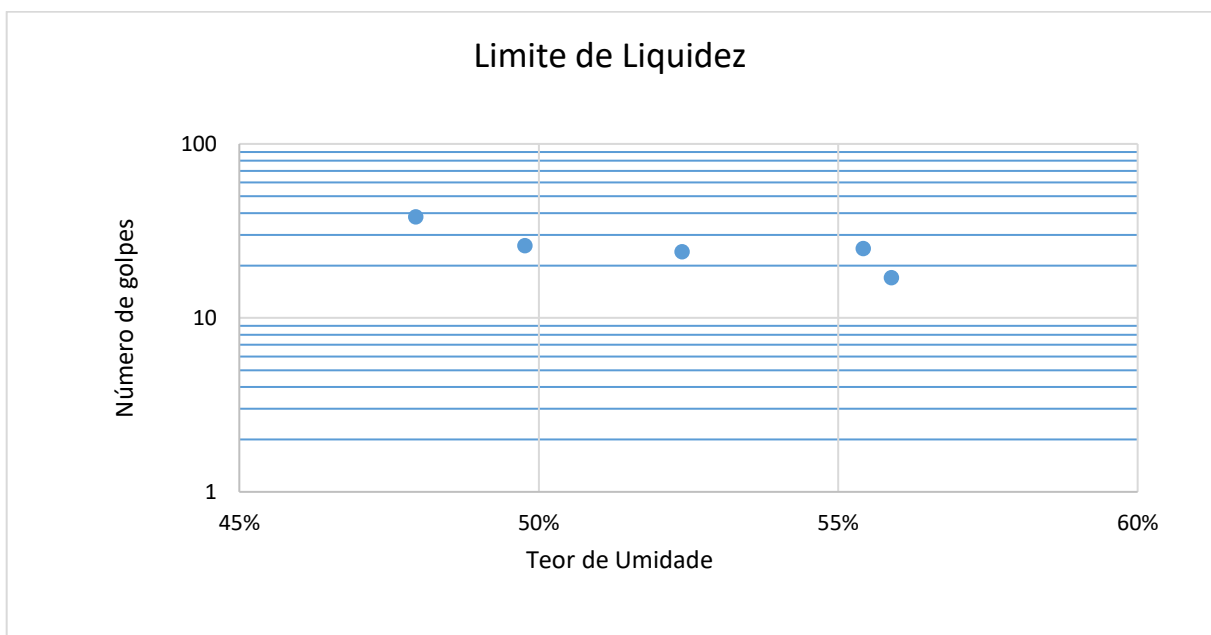
AMOSTRA: P6

ENSAIOS FÍSICOS

		Limite de liquidez				Limite de Plasticidade		
		53	97	22	58	121	116	
Cápsula nº	58	53	97	22	58	121	116	
Solo Úmido (g)	18,95	18,48	17,8	19,36	6,29	7,74	7,62	
Solo seco (g)	14,63	14,22	13,75	14,33	6,06	7,47	7,4	
Massa da cápsula (g)	5,62	5,66	6,02	5,33	5,58	6,92	6,95	
Massa do solo seco (g)	9,01	8,56	7,73	9	0,48	0,55	0,45	
Massa da água (g)	4,32	4,26	4,05	5,03	0,23	0,27	0,22	
Teor de Umidade (%)	47,95	49,77	52,39	55,89	47,92	49,09	48,89	
Número de Golpes	38	26	24	17				

RESUMO DO ENSAIO

LL	LP	IP
55	49	6



APÊNDICE C – ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – NBR 13969/1997

AMOSTRA: P1

LOCALIZAÇÃO: 24° 44' 55" S 53° 48' 15" W

DATA: 04/03/2020

P01					
Tempo	Desnível		Duração	Taxa de percolação	
(h)	(cm)		(h)	(min/m)	
	A	B		A	B
13:00	2,8	5,4	00:30	1071,43	555,56
13:30	2,9	5,8	00:30	1034,48	517,24
14:00	2,1	4,8	00:30	1428,57	625,00
14:30	1	4,3	00:30		697,67
15:00	1	2,8	00:30		1071,43
15:30		2,1	00:30		1428,57
16:00		1	00:30		
16:30		1	00:30		
				Média	997,04

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – NBR 13969/1997

AMOSTRA: P2

LOCALIZAÇÃO: 24° 44' 51" S 53° 48' 33" W

DATA: 05/03/2020

P02					
Tempo (h)	Desnível (cm)		Duração (h)	Taxa de percolação (min/m)	
	A	B		A	B
12:00	2,4	4	00:30	1250,00	750,00
12:30	2,6	4,4	00:30	1153,85	681,82
13:00	2,8	3	00:30	1071,43	1000,00
13:30	2,5	2,8	00:30	1200,00	1071,43
14:00	2,7	2,5	00:30	1111,11	1200,00
14:30	1	2,1	00:30		1428,57
15:00	1	1	00:30		
15:30		1	00:30		
				Média	1089,62

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – NBR 13969/1997

AMOSTRA: P3

LOCALIZAÇÃO: 24° 44' 47" S 53° 48' 34" W

DATA: 10/03/2020

P03					
Tempo (h)	Desnível (cm)		Duração (h)	Taxa de percolação (min/m)	
	A	B		A	B
12:00	3,4	6,4	00:30	882,35	468,75
12:30	3,4	6,1	00:30	882,35	491,80
13:00	2,8	5,7	00:30	1071,43	526,32
13:30	2,6	4,6	00:30	1153,85	652,17
14:00	2,9	2,8	00:30	1034,48	1071,43
14:30	2,1	2,9	00:30	1428,57	1034,48
15:00	1	2,7	00:30		1111,11
15:30	1	2	00:30		1500,00
16:00		1	00:30		
16:30		1	00:30		
				Média	966,26

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – NBR 13969/1997

AMOSTRA: P4

LOCALIZAÇÃO: 24° 44' 43" S 53° 48' 21" W

DATA: 11/03/2020

P04					
Tempo (h)	Desnível (cm)		Duração (h)	Taxa de percolação (min/m)	
	A	B		A	B
12:00	3	3,6	00:30	1000,00	833,33
12:30	3,5	3,2	00:30	857,14	937,50
13:00	2,7	3	00:30	1111,11	1000,00
13:30	2,5	3	00:30	1200,00	1000,00
14:00	2,4	2,4	00:30	1250,00	1250,00
14:30	1	2,5	00:30		1200,00
15:00	1	2,6	00:30		1153,85
15:30		2,3	00:30		1304,35
16:00		2,2	00:30		1363,64
		1	00:30		
		1	00:30		
				Média	1099,75

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – NBR 13969/1997

AMOSTRA: P5

LOCALIZAÇÃO: 24° 44' 43" S 53° 48' 16" W

DATA: 12/03/2020

P05					
Tempo (h)	Desnível (cm)		Duração (h)	Taxa de percolação (min/m)	
	A	B		A	B
12:05	3,6	6,5	00:30	833,33	461,54
12:35	3,1	6,3	00:30	967,74	476,19
13:05	2,2	5,9	00:30	1363,64	508,47
13:35	2,1	4,4	00:30	1428,57	681,82
14:05	2,7	2,5	00:30	1111,11	1200,00
14:35	2,3	2,4	00:30	1304,35	1250,00
15:05	1	2,6	00:30		1153,85
15:35	1	2,3	00:30		1304,35
16:05		1	00:30		
16:35		1	00:30		
				Média	1023,83

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – NBR 13969/1997

AMOSTRA: P6

LOCALIZAÇÃO: 24°44'37"S 53°48'15"W

DATA: 13/03/2020

P06					
Tempo (h)	Desnível (cm)		Duração (h)	Taxa de percolação (min/m)	
	A	B		A	B
12:00	5,6	6	00:30	535,71	500,00
12:30	5,7	6,6		526,32	454,55
13:00	5,9	6,6		508,47	454,55
13:30	5,3	4,3		566,04	697,67
14:00	4,3	4,6		697,67	652,17
14:30	4,6	4,4		652,17	681,82
15:00	4,4	3,5		681,82	857,14
15:30	2,6	2,7		1153,85	1111,11
16:00	2,6	2,2		1153,85	1363,64
16:30	2	1		1500,00	
17:00	1	1			
17:30	1				
				Média	775,05

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE PERCOLAÇÃO – ANEL CONCÊNTRICO

LOCALIZAÇÃO: 24° 44' 55" S 53° 48' 15" W

DATA: 27/07/2020

Tempo (min)		Desnível (cm)		Infiltração	
Intervalo	Acum.	Leitura	Delta	min/m	cm/s
0	0	31	-		
1	1	30,5	0,5	200,00	8,3E-07
2	3	30	0,5	400,00	4,2E-07
2	5	29,7	0,3	666,67	2,5E-07
5	10	29	0,7	714,29	2,3E-07
5	15	27,6	1,4	357,14	4,7E-07
5	20	25,4	2,2	227,27	7,3E-07
5	25	23,5	1,9	263,16	6,3E-07
5	30	21,2	2,3	217,39	7,7E-07
5	35	19,4	1,8	277,78	6,0E-07
5	40	17,3	2,1	238,10	7,0E-07
5	45	15,9	1,4	357,14	4,7E-07

Continua

Continuação

Tempo (min)		Desnível (cm)		Infiltração		
Intervalo	Acum.	Leitura	Delta	min/m	cm/s	
5	50	14,2	1,7	294,12	5,7E-07	
5	60	27,7	1,9	263,16	6,3E-07	
15	75	23	4,2	357,14	4,7E-07	
15	90	18,8	4,2	357,14	4,7E-07	
30	120	15,2	3,6	833,33	2,0E-07	
30	150	11,5	3,7	810,81	2,1E-07	
30	180	30/25	5	600,00	2,8E-07	
30	210	21,8	3,6	833,33	2,0E-07	
30	240	18,2	3,1	967,74	1,7E-07	
30	270	15,1	3,1	967,74	1,7E-07	
30	300	12	-			
