

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ELSON OLIVEIRA DE ALMEIDA
PÂMELA DOS SANTOS QUILICI

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO ELETRÔNICO
PARA AUXÍLIO DE COLETA DE DADOS E EMISSÃO DE RELATÓRIO PARA
OBTENÇÃO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE SOLOS

BRASÍLIA

2021

ELSON OLIVEIRA DE ALMEIDA

PÂMELA DOS SANTOS QUILICI

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO ELETRÔNICO
PARA AUXÍLIO DE COLETA DE DADOS E EMISSÃO DE RELATÓRIO PARA
OBTENÇÃO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE SOLOS**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Julio Cesar Sebastiani Kunzler

2021

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o intuito de reduzir a interferência humana e reprimir os vários problemas de perda de dados e leituras equivocadas que envolvem os levantamentos “*in situ*” durante estudos geotécnicos como, neste caso, em ensaios de infiltração para determinação do coeficiente de permeabilidade dos diferentes tipos de solos, além de contribuir com a tecnologia na engenharia civil com o objetivo de melhorar a qualidade dos serviços tanto de quem produz quanto de quem utiliza estes dados. Para o desenvolvimento do protótipo, foram levantadas referências bibliográficas afim de esclarecer os diversos métodos conhecidos e determinar qual o mais indicado para a utilização na programação do *software* do equipamento, além da experiência técnica de campo dos desenvolvedores deste estudo. É sabido que na construção civil existem vários estudos que antecedem qualquer tipo de construção, em muitos desses estudos, a equipe de campo responsável pelos serviços não o faz da maneira adequada como orientam as normas técnicas brasileiras, fazendo assim com que diagnósticos e parâmetros sejam interpretados de maneira equivocada, dados sejam extraviados ou até mesmo alterados, produzindo assim erros na elaboração de relatórios técnicos e falhas na elaboração de projetos. Para que problemas como esse sejam reduzidos, desenvolveu-se um protótipo que minimiza o fator humano em ensaios geotécnicos, reduzindo falhas e produzindo dados mais precisos e condizentes com a realidade. Para isso foram utilizados hardwares que recebessem uma programação capaz de processar os dados obtidos através de sensores instalados no equipamento e com isso fosse possível gerar um relatório final com o coeficiente de permeabilidade do solo estudado. Os resultados obtidos através dos experimentos realizados com o equipamento eletrônico, desenvolvido na pesquisa, foram comparados com estudos feitos da maneira convencional, para que ambos os produtos fossem analisados e seus parâmetros comparados afim de validar todos os dados obtidos como leituras relevantes, com isso, foram gerados gráficos que comprovam a efetividade do protótipo e ao final do tempo de ensaio, foi gerado o coeficiente de permeabilidade do solo condizente com o tipo do material estudado, tudo isso de forma eletrônica. O protótipo e o software desenvolvidos apresentaram resultados satisfatórios. Os dados são colhidos de forma precisa e em tempo real, eliminando qualquer manipulação, perda de dados ou leitura equivocada de operadores humanos, gerando assim um produto mais confiável e conseqüentemente oferecendo dados seguros para a elaboração de projetos que necessitam conhecer o coeficiente de permeabilidade.

Palavras-chave: permeabilidade; ensaio; geotecnia; engenharia; infiltração.

SUMÁRIO

RESUMO	3
INTRODUÇÃO	5
OBJETIVOS	6
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
MÉTODO	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
REFERÊNCIAS	16

INTRODUÇÃO

A permeabilidade é a propriedade do solo que permite a percolação de água em seus espaços vazios. Para o seu conhecimento, faz-se necessário a realização de estudos, entre eles, o ensaio de permeabilidade (ABGE, 1996).

Ensaio de permeabilidade, também conhecidos como “ensaio de infiltração”, são de grande importância para a engenharia civil, visto que o conhecimento do coeficiente de permeabilidade dos solos é fundamental, principalmente para desenvolvimento de projetos de drenagem, dimensionamento de sistemas de infiltração, análise de recalque, estudos sobre estabilidade de talude, projetos de rebaixamento de lençol freático, projetos de captação pluvial, etc.

Muitas vezes esses ensaios são realizados em laboratório, mas seus resultados nem sempre apresentam resultados condizentes com a realidade, pois as pequenas amostras coletadas não se comportam como grandes massas de solo. Sendo assim, o mais indicado é a realização de estudo “in situ”, haja vista produzirem resultados médios de permeabilidade e assim resultar em projetos com maior controle técnico.

Por mais criteriosos que sejam os responsáveis técnicos pela realização de ensaio, é muito comum que existam problemas típicos de trabalhos realizados em campo. Os ensaios de permeabilidade, por serem realizados totalmente de forma manual, pois não existem tecnologias muito acessíveis no setor, podem vir a apresentar várias inconformidades, as quais geram uma concepção errônea de resultados.

Entre os problemas mais comuns, podem-se citar: baixíssima produtividade, tendo em vista o ensaio ser demorado, falha na coleta de dados, possibilidade de perda das folhas que contém as planilhas onde estão sendo anotados os dados coletados, interpretação equivocada na leitura dos dados e geração de resultados diferentes da realidade, necessidade de mão de obra especializada, conhecimento técnico para geração de gráficos e dos coeficientes de permeabilidade, lentidão na geração de relatórios, etc.

Logo, diante das demandas apresentadas, que fragilizam o desenvolvimento dos ensaios de permeabilidade, esta pesquisa propõe apresentar uma nova metodologia para concepção e análise dos ensaios de permeabilidade do solo.

Esse projeto também se justifica no interesse em promover novas tecnologias na área de geotecnia, que possam ser de baixo custo e acessíveis aos profissionais da área.

OBJETIVOS

Os vários problemas que envolvem os levantamentos “in situ” podem trazer resultados inconclusivos, além de estarem pautados em procedimentos arcaicos e que dependem totalmente da ingerência humana. É sabido que técnicos com pouca experiência, e que necessitam produzir resultados de forma rápida, muitas vezes falham em todo o processo do ensaio. Muitas das vezes os dados são coletados de forma errônea e até mesmo podem ser adulterados afim de se produzir um produto com mais agilidade

A ausência de tecnologia no setor e a falta de material atualizado, possibilita à interpretações equivocadas e prejudicando a atividade dos profissionais que atuam na área.

Este estudo visa evitar imperícias na realização do ensaio, possibilitando que os resultados dos ensaios de infiltração sejam apresentados de modo consistentes e livres de equívocos que possam ter sido originados durante a realização dos estudos.

Para este fim, estudou-se o desenvolvimento de um equipamento que auxilie a coleta de dados, emissão de relatório e definição do coeficiente de permeabilidade para cada tipo de solo. Juntamente com o hardware, um software processa todos os dados e entrega os resultados do ensaio em forma de gráficos e tabelas e determina o coeficiente de permeabilidade através dos dados coletados durante o ensaio de infiltração, tudo isso sem fator humano no processo de coleta de dados e concepção de relatórios finais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É de grande importância o estudo da capacidade de percolação no solo, pois está relacionada diretamente a diversos problemas ligados a rebaixamentos de lençol freático, estabilidade de taludes, etc.

O coeficiente de permeabilidade é a velocidade de descarga ou velocidade de percolação da água quando o gradiente hidráulico é igual a unidade, de acordo com Souza e Pinto (2000). Para Stephens (1996) a velocidade de percolação varia em função das propriedades do solo, do teor de umidade e das características do fluido.

Com o grande crescimento das cidades, a interferência do homem no ciclo natural da água e a perturbação do curso de água subterrânea, faz-se necessário uma atualização nos métodos de leitura dos níveis d'água, pois os materiais e estudos disponíveis estão defasados. De acordo com Barbassa (2009) a determinação do valor de K (coeficiente de permeabilidade) em campo é muito dificultada, pois os trabalhos já produzidos são muito antigos e são aliadas a dificuldades na execução dos ensaios.

Devido a ausência de tecnologia e a necessidade de produção de relatórios técnicos cada vez mais urgentes, a qualidade dos estudos realizados por empresas do ramo tende a cair, pois prefere-se utilizar mão de obra pouco especializada e isso reflete diretamente na apresentação de resultados coerentes. Segundo Lambe (1991) os ensaios de campo são menos precisos devido às grandes variáveis que podem ocorrer.

Os primeiros estudos relacionados ao movimento de água subsuperficial foram realizados em 1857 pelo engenheiro Henry Darcy (FRANCIS, 1980). Desde então a maneira como a permeabilidade do solo é estudada pouco evoluiu e com isso, os problemas envolvidos durante as coletas de dados foram considerados de pouca importância e por isso deixados de lado.

Ao decorrer dos anos, vários métodos foram desenvolvidos, como: método do permeâmetro Ghelph, o infiltrômetro de anéis concêntricos e os ensaios descritos pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Alguns dos tais métodos para avaliação da condutividade hidráulica do solo (permeabilidade) podem ser observados a seguir:

- Método “A”

ABGE (1996) - Ensaio de permeabilidade em solos – Orientação para sua execução; onde a classificação adotada foi a seguinte:

- a) Maneira de Realização: Nível Variável;
- b) Pressão Aplicada: Carga;
- c) Denominação do Ensaio: Rebaixamento;
- d) Método de prospecção: Sondagem à Trado.

- Método “B”

ABNT NBR 13969 (1997) - Procedimento para estimar a capacidade de percolação do solo.

- Método “C”
ABGE (2013) - Ensaio de permeabilidade em solos – Orientação para sua Execução em campo.
- Método “D”
ASTM D 3385-03 (2003) - Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer.

Dentre os métodos utilizados, As Tabelas 01 e 02 apresentam valores de permeabilidade de solos em função do K.

Grau de Permeabilidade	K (cm/s)
Alta	Acima de 10^{-1}
Média	10^{-1} a 10^{-3}
Baixa	10^{-3} a 10^{-5}
Muito Baixa	10^{-5} a 10^{-7}
Praticamente Impermeável	Acima de 10

Tabela 1 - Grau de permeabilidade (Terzagui e Peck, 1967).

K													
K (cm/s)	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Solo	Pedregulho			Areia			Areia fina siltosa e argilosa, silte argiloso				Argila		

Tabela 2 - Coeficiente de permeabilidade “k” (Mello e Teixeira, 1967).

Em situações remotas (projetos preliminares), em que seja necessário estimar o coeficiente de infiltração dos solos, podem-se usar as Tabelas 3 e 4, abaixo.

Faixa	Constituição provável dos solos	Coefficiente de infiltração L/m ² x dia
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactadas de cor avermelhada	menor que 20
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom	40 a 60
4	Areia ou silte argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a grossa com cascalho	maior que 90

Tabela 3 - Estimativa do coeficiente de infiltração dos solos. Fonte: NBR 7229:1982.

Tipo de material	Granulometria (cm)	k (cm/s)
Brita 5	7,5 a 100	100
Brita 4	5,0 a 7,5	80
Brita 3	2,5 a 5,0	45
Brita 2	2,0 a 2,5	25
Brita 1	1,0 a 2,0	15
Brita 0	0,5 a 1,0	5
Areia grossa	0,2 a 0,5	1×10^{-1}
Areia fina	0,005 a 0,04	1×10^{-3}
Silte	0,0005 a 0,005	1×10^{-5}
Argila	Menor que 0,0005	1×10^{-7}

Tabela 4 - Condutividade hidráulica para diversos tipos de solo.

Para Libardi (2000) existe uma grande deficiência nos estudos da dinâmica da água no subsolo e muitas das vezes, a avaliação desses fluxos, são normalmente estimadas. Nesses casos, estimar valores neste tipo de estudo podem trazer complicações seríssimas às edificações e até mesmo colocar em risco a vida dos usuários.

A tecnologia na construção civil pode melhorar a qualidade tanto de quem produz quanto de quem utiliza, pois, a alta utilização de smartphones, internet e aplicativos no mercado, tendem a melhorar a produtividade, a qualidade e a utilização das construções. Esses aparelhos permitem a melhor organização das informações da obra e possibilitam a edição de forma mais prática e menos burocrática. Aumento de produtividade e redução de custos com a mão de obra são dois ganhos do sistema.

MÉTODO

Para o desenvolvimento do protótipo, inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o assunto relacionado à pesquisa que trata a respeito das características de diferentes tipos de solo, como sua formação geológica, sua permeabilidade e métodos disponíveis para realização de ensaios de infiltração. Após os estudos foi possível determinar o método de cálculo do coeficiente de permeabilidade mais adequado que seria utilizado no desenvolvimento do software do protótipo.

Para a montagem do equipamento foram utilizados os equipamentos mostrados nas Figuras 1, 2, 3 e 4 abaixo:

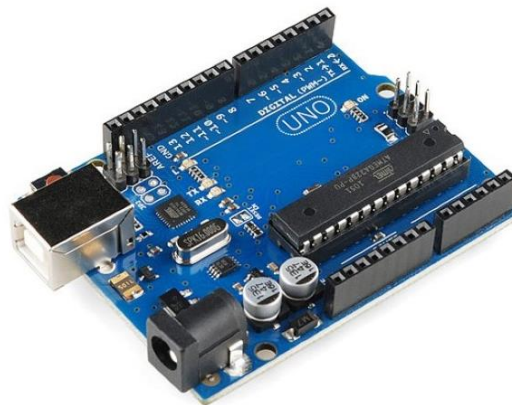


Figura 1 – Placa Arduino Uno R3

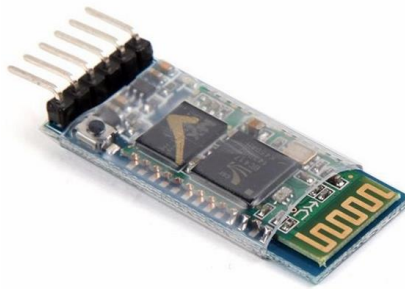


Figura 2 – Módulo Bluetooth RS232 HC-05



Figura 3 – Sensor de Umidade e Temperatura DHT22 / Am2302



Figura 4 – Sensor de distância Qwiic RFD77402 Sparkfun

Após a montagem do equipamento e com o auxílio de um software para desenvolvimento do algoritmo que irá processar os dados do ensaio, foi introduzido no programa o método escolhido como o mais apropriado para a utilização real do equipamento.

Foi utilizado o procedimento para estimar a capacidade de percolação do solo (K), para fins de destinação de efluentes líquidos, segundo a NBR 13969 / 2007.

O ensaio deve ser feito a cada camada de solo, de modo que o resultado final é dado pela média ponderada das camadas atravessadas pelo ensaio.

De uma forma geral, pode obter benefícios das prescrições da NBR 13969 aplicando as recomendações contidas no Boletim nº 04 da ABGE (1996), para determinação da

permeabilidade dos solos. Este procedimento utiliza-se do preenchimento do furo de sondagens com água e a avaliação do tempo de infiltração. A Figura 5, mostra detalhes deste ensaio.

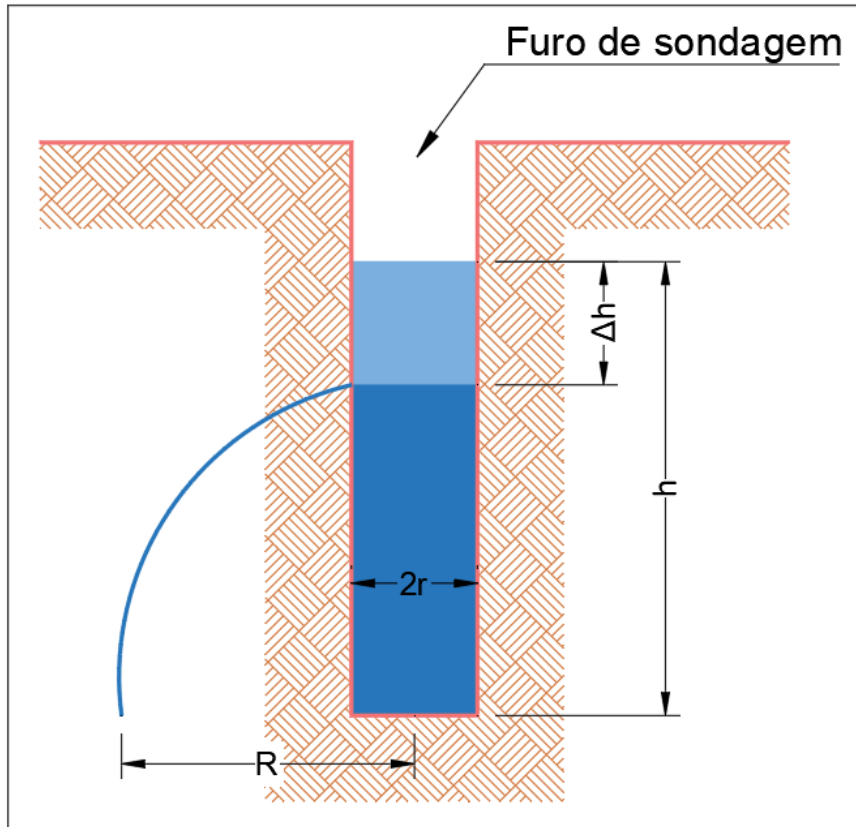


Figura 5 – Ensaio de infiltração em furos de sondagens de acordo com ABGE (1996)

Para este método, utiliza-se a fórmula:

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

Onde :

h – Altura da lâmina d'água;

Δh – Variação do N.A. (nível d'água) após um tempo "t";

$2r$ – Diâmetro do furo;

R – Freática estimada ($R = \frac{(1+4h)^{0,5}-1}{2}$, a qual supõe que o escoamento se faz, segundo uma parábola cujo vértice está no centro do furo).

Para a utilização do protótipo, o equipamento é posicionado sobre o furo do ensaio de infiltração, anteriormente perfurado com trado manual de 150mm de diâmetro e preenchido com água, e o protótipo, dotado de leitor a laser, faz a leitura da variação do N.A. (nível d'água) em intervalos de tempo, de acordo com o padrão ABGE. Durante a realização do ensaio, os dados coletados são processados no micro gerenciador arduino e pode-se acompanhar as leituras por um aplicativo para dispositivo móvel conectado via bluetooth ou por um notebook conectado ao protótipo. As Figuras 6 e 7 mostram o equipamento em fase de montagem e realizando a leitura em tempo real após inserida a programação.

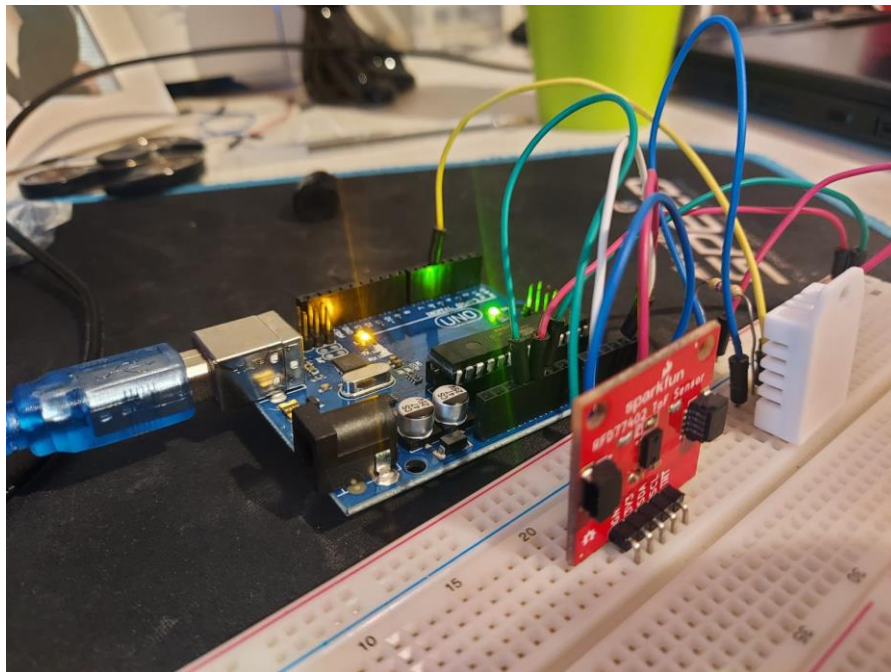


Figura 6 – Protótipo em fase de montagem para inserção da programação

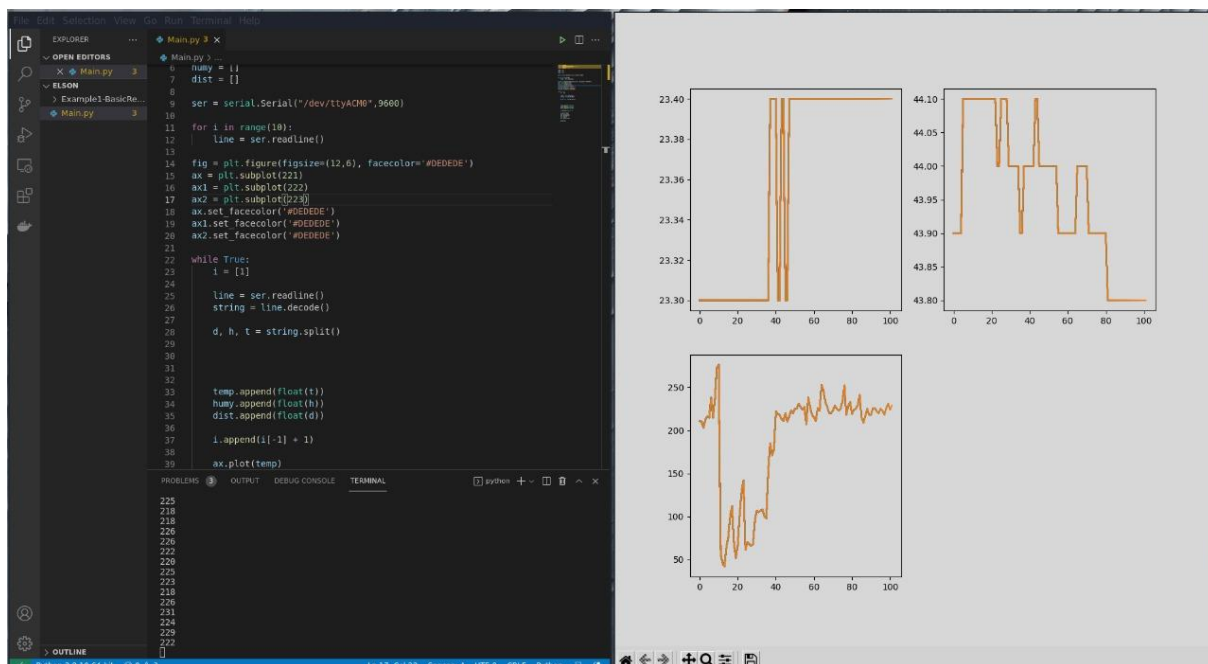


Figura 7 – Inserção da programação do protótipo e exibição de gráficos em tempo real da realização dos ensaios

Com os dados coletados ao longo de um período de tempo especificado anteriormente no software do equipamento, os mesmos foram comparados com outros ensaios executados por meios convencionais para comparação dos resultados e comprovação da eficiência do funcionamento do equipamento desenvolvido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados 5 furos de sondagem, em diferentes regiões de Brasília e entorno, com diferentes tipos de solo, para a execução dos testes e após o processo de escavação e saturação, todos os testes realizados com o protótipo apresentaram dados consistentes e precisos para a determinação do coeficiente de permeabilidade (k), comparados a ensaios realizados com métodos convencionais, ou seja, todas as leituras de variações de tempo e infiltração, foram coletados e anotados em uma planilha de campo por um técnico capacitado.

De posse dos dados coletados, os valores médios de permeabilidade, taxa de infiltração e taxa de aplicação são apresentados nas Tabelas 5 a 9 a seguir, gerados pelo software do protótipo desenvolvido na pesquisa.

Furo 01 - Valores médios para o terreno	
Permeabilidade (k) (cm/s)	5,24 x 10 ⁻⁵
Taxa de infiltração (min/m)	200
Taxa de aplicação (litros/m ² x dia)	89,27

Tabela 5 – Resumo dos resultados emitidos com o equipamento na região de Águas Lindas – GO

Furo 02 - Valores médios para o terreno	
Permeabilidade (k) (cm/s)	4,29 x 10 ⁻⁵
Taxa de infiltração (min/m)	142,9
Taxa de aplicação (litros/m ² x dia)	105,17

Tabela 6 – Resumo dos resultados emitidos com o equipamento na região de St. Antônio do Descoberto – GO

Furo 03 - Valores médios para o terreno	
Permeabilidade (k) (cm/s)	1,34 x 10 ⁻⁴
Taxa de infiltração (min/m)	78,5
Taxa de aplicação (litros/m ² x dia)	142,81

Tabela 7 – Resumo dos resultados emitidos com o equipamento na região do Jardins Mangueiral – DF

Furo 04 - Valores médios para o terreno	
Permeabilidade (k) (cm/s)	1,02 x 10 ⁻³
Taxa de infiltração (min/m)	69
Taxa de aplicação (litros/m ² x dia)	152,78

Tabela 8 – Resumo dos resultados emitidos com o equipamento na região do Park Way – DF

Furo 05 - Valores médios para o terreno	
Permeabilidade (k) (cm/s)	8,61 x 10 ⁻⁵
Taxa de infiltração (min/m)	102
Taxa de aplicação (litros/m ² x dia)	125,74

Tabela 9 – Resumo dos resultados emitidos com o equipamento na região de Cidade Ocidental – GO

CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES)

Os dados emitidos pelo protótipo apresentaram dados consistentes e precisos. A subtração da ação humana durante o processo gerou resultados mais precisos e também foi observado aumento de produtividade para a realização dos serviços. O software desenvolvido se comportou de maneira satisfatória em os testes e após ajustes durante o processo de desenvolvimento, computou todos os dados e emitiu o coeficiente de permeabilidade de acordo com os valores reais que seriam emitidos se coletados por técnico competente.

REFERÊNCIAS

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1996. Ensaio de Permeabilidade em Solos: orientações para a sua execução no campo. 3.ed. Boletim 04. São Paulo.

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 2013. Ensaio de Permeabilidade em Solos: orientações para a sua execução no campo. 4.ed. São Paulo.

MELLO, V. F. B; TEIXEIRA, A. H. 1967. Mecânica de solos. São Carlos: Escola de Engenharia.

BARBASSA, A. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, C. X.; GUTIERREZ, L. A. R.; LUCAS, A. H. 2009. Coeficiente de permeabilidade em ensaio de poço invertido: efeito do tempo de umedecimento prévio e métodos de cálculo. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande. Anais. Campo Grande: ABRH.

SOUZA PINTO, C. de. 2000. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. São Paulo. Oficina de textos, 247p.

STEPHENS, D. B. 1996. Vadose Zone Hydrology. Lewis Publishers.

FRANCIS, F. O. 1980. Hidráulica de meios permeáveis: escoamento em meios porosos. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. 1979. Soil Mechanics, SI version. Massachusetts Institute of Technology. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.

LIBARDI, P.L. 2000. Dinâmica da água no solo. 2. ed. Piracicaba. 509p

NBR 6484 - Sondagens de simples reconhecimento com SPT;

NBR 9603 - Sondagem a trado;

NBR 6122 - 1996 - Projeto e Execução de Fundações;

NBR 13441 - Rochas e solos;

NBR7229 - Projeto, construção e operação de Sistemas de tanque sépticos;

NBR 13969 - Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento complementar e disposição final de efluentes – Projeto, construção e operação;