

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

AUGUSTO MARTINS FERREIRA

**IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DO SOLO PARA ESTUDO DE
IMPLANTAÇÃO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO NA REGIÃO CENTRO-SUL DE
APARECIDA DE GOIÂNIA**

APARECIDA DE GOIÂNIA

2018



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☒ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor Augusto Martins Ferreira

Matrícula: 20131090040134

Título do Trabalho: Identificação de parâmetros do solo para estudo de implantação de poços de infiltração na região centro-sul de Aparecida de Goiânia.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 10/01/2019

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Aparecida de Goiânia 06/01/19
Local Data

Augusto Martins Ferreira
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

ANEXO G - TERMO DE APROVAÇÃO

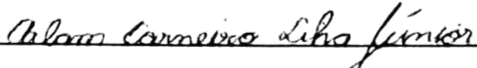
AUGUSTO MARTINS FERREIRA

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DO SOLO PARA ESTUDO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO E CONTROLE DE ESCOAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NA CIDADE DE APARECIDA DE GOIÂNIA

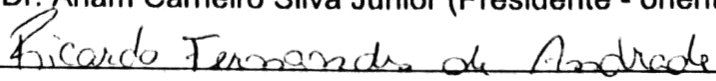
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Geotecnia sob orientação do Dr. Arlam Carneiro Silva Junior.

Aprovado em 06 de dezembro de 2018.

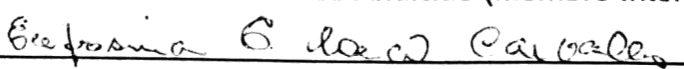
BANCA EXAMINADORA



Dr. Arlam Carneiro Silva Junior (Presidente - orientador)



Me. Ricardo Fernandes de Andrade (Membro Interno)



Dr. Eufrosina Terezinha Leão Carvalho (Membro Externo)

IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DO SOLO PARA ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO NA REGIÃO CENTRO-SUL DE APARECIDA DE GOIÂNIA

Augusto Martins Ferreira, Instituto Federal de Goiás - IFG
martins.edf@gmail.com
Prof. Dr. Arlam Carneiro Silva Junior (Orientador), Instituto Federal de Goiás – IFG
arlamjr@gmail.com

RESUMO

O processo de urbanização das cidades, na maioria das vezes, ocorre de maneira não planejada. Com isso, seus sistemas de infraestrutura não estão preparados para receber as novas demandas. A cidade de Aparecida de Goiânia cresceu rapidamente devido a sua proximidade com a capital Goiânia, e seus sistemas de drenagem não suportam a água que é escoada devido à impermeabilização da superfície urbanizada. Esse volume de água excedente, é capaz de provocar enchentes e alagamentos em pontos críticos da cidade. Em busca da solução para os problemas de drenagem os sistemas de infiltração tem se mostrado uma alternativa eficaz. Esses sistemas são, quando utilizados em pequenas parcelas da zona urbanizada, capazes de minimizar a sobrecarga nos sistemas de drenagem, pois infiltram a água precipitada na origem do problema. O presente trabalho teve sua metodologia baseada em identificar os parâmetros do solo para possibilitar futuros estudos de sistemas de infiltração em uma determinada região de Aparecida de Goiânia. Os ensaios realizados para identificação dos parâmetros foram os de granulometria com defloculante, limites de consistência, monitoramento do perfil de ascensão do lençol freático e a obtenção das taxas de permeabilidade e infiltração no perfil de solo. Resultando na identificação de um solo com características argilo-arenosa, com lençol freático a 4,96 m de profundidade e capacidade de infiltração de 1008 l/m². dia.

Palavras-chave: *Águas superficiais. Parâmetros do solo. Taxa de infiltração. Poços de infiltração.*

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Aparecida de Goiânia não se desenvolveu de forma planejada como ocorre com a maioria das cidades brasileiras. Sua proximidade com a capital Goiânia fez acelerar o seu crescimento e esse crescimento de forma desordenada torna-se um dos responsáveis pela modificação dos parâmetros ambientais, entre eles, a modificação das condições ambientais de precipitação, infiltração e vazão de água na bacia hidrográfica da região.

O processo de urbanização interfere no clima local, estando ligado ao aumento das temperaturas e modificação das condições de umidade, o que pode acarretar em intensificação de chuvas na tentativa de buscar o equilíbrio ambiental. Por consequência de tal processo, o terreno não está condicionado a absorver chuvas intensas de forma rápida, produzindo um escoamento de água não desejado que sobrecarrega redes públicas, leitos de

¹ Ferreira, A. M.; Silva Junior, A.C. **Identificação de parâmetros do solo para estudo de implantação de poços de infiltração na região centro-sul de Aparecida de Goiânia.** Aparecida de Goiânia: IFG, 2018.

rios e pontos mais baixos da cidade, provoca erosões, enchentes e alagamentos, gera danos ambientais, financeiros e podendo até gerar situações de risco à vida.

Na tentativa de buscar o equilíbrio ambiental e solucionar problemas sociais e de engenharia, foram desenvolvidos modelos alternativos e compensatórios de retenção e infiltração de água pluvial em que a água possa ser retida, disponibilizada para consumo e infiltrada novamente no solo (JACINTHO et al, 2012). A aplicação de métodos alternativos pode ocorrer em áreas públicas ou diretamente nas pequenas parcelas da macrozona, agindo diretamente na fonte de origem do problema, controlando o excesso de escoamento no local onde é gerado, assim considerado, sistema de controle na fonte. (REIS, OLIVEIRA E SALES, 2008).

O controle na fonte pode ser uma alternativa para diminuição do escoamento superficial em toda a cidade, principalmente resolver problemas em zonas críticas na cidade de Aparecida de Goiânia, integrando as ações de controle nas pequenas parcelas e as intervenções do poder público com grandes sistemas de retenção, infiltração e redução da velocidade de escoamento pluvial. Dentre os sistemas de controle na fonte, os poços de infiltração são os que geram menor impacto em sua execução, tem menor custo de operação em relação a sistemas mais robustos.

O presente estudo foi realizado na região metropolitana ao sul de Goiânia, nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Aparecida de Goiânia. A finalidade desse estudo foi verificar o potencial de infiltração da região que proporcione a instalação de sistemas de infiltração e retenção de água para o controle de águas pluviais. Para a implantação desses sistemas devem ser extraídos parâmetros do solo como a classificação do perfil do solo, a intensidade de chuva local e variação do nível do lençol freático. Tais dados são necessários para uma definição eficiente da estrutura de infiltração a ser adotada, e também os dados poderão servir de parâmetros para projetos futuros que possuam as mesmas características, podendo economizar estudos preliminares.

1.1 Objetivo

O objetivo do trabalho é a identificação de parâmetros do solo como: a caracterização do perfil, os parâmetros de permeabilidade e infiltração. Como objetivo específico temos a realização de ensaios para definição da granulometria, limites de *atterberg*, sucção do solo em períodos seco e chuvoso, ascensão do lençol freático, observação pluviométrica da região e obtenção capacidade de infiltração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é realizada uma revisão bibliográfica sobre solos tropicais, infiltração de água no solo e sistema de infiltração. Em destaque é apresentado o poço de infiltração.

2.1 Solos tropicais

O comportamento dos solos em climas tropicais é diferente dos solos considerados clássicos da mecânica dos solos. Esse tipo de solo sofre o efeito da variação climática tropical, definida basicamente por duas estações, a seca e a chuvosa. Gerando um ciclo de lixiviação no período chuvoso e ressecamento no período de seca, que é o responsável pela formação dos solos lateríticos (CONCIANI, BURGOS E BEZERRA, 2015).

Jacinto et al. (2012), afirmam que as estruturas mineralógicas dos solos tropicais devem levar em conta, que o índice de vazios dos solos lateríticos são geralmente maiores do que seriam se associados a distribuição granulométrica. A distribuição dos poros nesse solo é caracterizada pela presença de macroporos entre os agregados e microporos no interior dos agregados. A estabilidade dos agregados pode sofrer variação de acordo com a umidade, e por consequência dos elevados índices de vazios, as permeabilidades geralmente são maiores que as simplesmente associadas à granulometria.

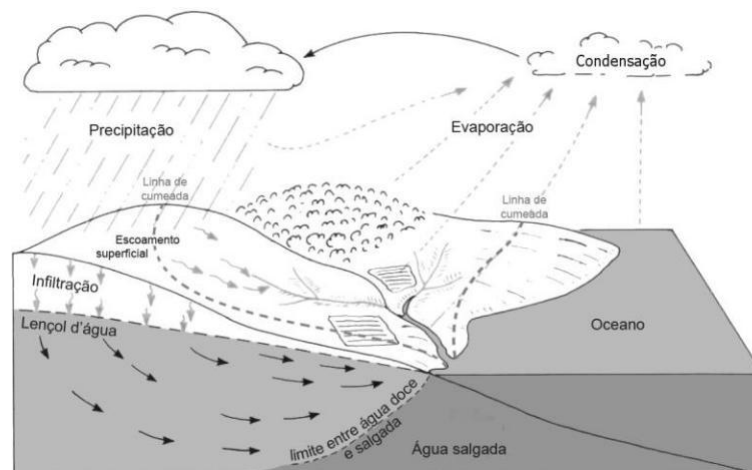
Na camada superficial dos solos tropicais estão os solos não saturados, de acordo com Luiz, Martins e Carvalho, J., (2012). Motivo esse que contribui ainda mais para as particularidades do comportamento do solo tropical, uma vez que nos solos não saturados, a água e o ar estão preenchendo os vazios e geralmente nessa região se encontra a poropressão negativa (SILVA JUNIOR, 2011). A poropressão negativa quando estudada em solos não saturados recebe a denominação de sucção, diretamente ligada à umidade presente no solo. Para melhor compreensão da relação umidade e sucção observa-se a curva característica solo-água (CCSA), proposta por Fredlund Rahardjo (2012). A obtenção da CCSA no campo experimental poderá ser obtida através da adaptação do método do papel filtro para medição de sucção em campo.

O movimento dos fluidos água e ar na região não saturada do solo depende da umidade e da sucção. Quando o solo está passando por um processo de perda de umidade, a sucção tende a aumentar e o fluxo de água tende a diminuir. Se a sucção está em grau muito elevado, próximo da umidade nula, tem-se o ar preenchendo praticamente todos os vazios do solo e a água não se apresenta mais em uma camada contínua, essa descontinuidade é a responsável por impedir o fluxo interno de água na solo. Segundo Luiz, Martins e Carvalho, J., (2012), quando a fase de ar é contínua no solo, o que ocorre para condições de sucção muito elevadas, a lâmina d'água do fluxo superficial tende a sofrer inicialmente uma rápida infiltração. Porém essa rápida infiltração pode acarretar em um aprisionamento do ar livre presente nos vazios de solo através de uma lâmina d'água, provocando uma pressão positiva e impedindo a infiltração, obstruindo o fluxo. Essa mesma lâmina pode atuar desagregando o solo após superar a coesão e a tensão efetiva (JACINTHO *et al.* 2012).

2.2 Infiltração

A movimentação da água no mundo se dá através do chamado ciclo hidrológico, composto por precipitação, infiltração, escoamento, evaporação, transpiração e condensação (Figura 1).

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: Adaptado de Kambinda (2014).

A infiltração é a etapa do ciclo hidrológico responsável por infiltrar a água no solo. O conceito de infiltração é extremamente intuitivo e nada mais é que a penetração da água nos poros do solo através da sua superfície, ou seja, a entrada de água se dá através da interface solo-atmosfera (LIBARDI, 1995. *Apud* PEIXOTO, 2011).

É simples a observação que a etapa de infiltração ocorre sempre em que há precipitação de águas de chuva. A infiltração de água, através da superfície, dá-se umedecendo de forma gradativa as camadas do perfil de solo, seguindo da camada superior para a inferior (PEIXOTO, 2011). A infiltração segundo Carvalho, E., (2008) é o processo que define a entrada de água no solo. Já a movimentação da água dentro do maciço do solo é percolação.

Desta forma, a infiltração é um processo de superfície (interface) e a percolação é um processo interno ao maciço do solo, mas os dois processos estão intimamente ligados já que a infiltração só pode ocorrer se houver a percolação.

Após o início da precipitação, a capacidade de infiltração decresce com o tempo até alcançar uma razão constante. O decréscimo da curva de capacidade de infiltração é causado principalmente pelo preenchimento dos poros do solo por água (PEIXOTO, 2011). Com essa redução da capacidade de infiltração é esperado que o excedente infiltrado se transforme em escoamento, como é previsto no ciclo hidrológico.

2.3 Sistemas de Infiltração

O sistema de drenagem urbana é o responsável por direcionar as águas pluviais até os mananciais, talvegues, leitos de rios e pontos onde a água possa acumular sem prejuízo ao meio ambiente. Os sistemas de drenagem convencional operam com um grande acréscimo devido ao alto nível de impermeabilização do solo. Nos sistemas de infiltração tenta-se fazer uma compensação dessa elevada impermeabilização. Uma alternativa aos grandes centros impermeabilizados é, então, proporcionar o local para captação, retenção e infiltração dessa água.

Segundo Reis, Oliveira e Sales (2008), aplicando-se soluções de drenagem que induzam a infiltração da água pluvial no terreno, é possível reduzir o volume de descarga nas sarjetas e galerias pluviais, restabelecer o balanço hídrico, criar pontos de recarga do lençol freático, minimizar a ocorrência de enxurradas, melhorar a qualidade das águas e consequentemente, melhorar a qualidade de vida da população dos grandes conglomerados urbanos.

O redimensionamento e troca do sistema de drenagem é de alto custo. Considerando regiões urbanas em que o sistema de drenagem está sobrecarregado, uma solução poderia ser a utilização de sistemas de drenagem na fonte, atuando a montante do sistema público de captação. Segundo Reis, Oliveira e Sales (2008), os sistemas de drenagem na fonte atuam diretamente na origem do problema, controlando o excesso de escoamento superficial no local onde é gerado. Um exemplo de sistema de infiltração capaz de atuar na fonte são os poços de infiltração.

2.3.1 Poço de Infiltração

Os poços de infiltração são poços perfurados no terreno, com diâmetro variável e altura superior à dimensão do diâmetro, geralmente. Pode ser considerada uma estrutura profunda, usualmente a legislação exige um controle mínimo de 1,0m³ e considera um lote de 200m² assim procura-se dimensionar um poço com capacidade mínima de 1m³. Como sistema de infiltração, o poço tem capacidade de reter e infiltrar a água da chuva, e o excedente é redirecionado ao sistema público de drenagem por meio de extravasores, quando o solo tender à saturação e a capacidade de infiltração for inferior à vazão de entrada (REIS, OLIVEIRA e SALES, 2008).

Segundo Peixoto (2011), o poço de infiltração é a solução que mais carece de pesquisas e que possui a vantagem imprescindível de ser uma solução pontual. Requer uma área pequena e, por isso, pode ser empregado nos lotes densamente impermeabilizados dos grandes aglomerados urbanos. Sua instalação é discreta do ponto de vista arquitetônico, e se mostra um tipo de solução de fácil aplicação. Porém devem ser obedecidos alguns critérios.

2.3.2 Critérios e condições para implantação de um poço de infiltração

Os poços de infiltração possuem fatores limitantes, tais como a impossibilidade de instalação em terrenos com solos colapsíveis, caracterizados pela súbita redução de volume de vazios do solo diante do aumento da umidade com ou sem acréscimo de carga. Devido ao ganho de umidade com presença ou não de sobrecarga, solos com baixa capacidade de infiltração ou lençol freático elevado (REIS, OLIVEIRA e SALES, 2008).

A distância entre o lençol freático e o fundo do poço tem relação direta com a camada de solo e a capacidade de reter ou dificultar a passagem de poluentes. Por isso, antes da implantação devem ser observadas as diretrizes locais de onde se pretende executar tal estrutura.

Segundo Vendrame (1998), enquanto mecanismos de poluição nem sempre são precisamente conhecidos, é tido como certo que parte dos poluentes são transmitidos aos reservatórios subterrâneos por meio de poços de infiltração.

A legislação municipal de Aparecida de Goiânia não dispõe sobre os critérios específicos para infiltração de água no solo. Entretanto, no município de Goiânia, a Lei Orgânica nº 9511 de dezembro de 2014 estabelece critérios para implantação de sistemas de controle de águas pluviais e drenagem urbana. Nos Incisos I ao VIII do Art. 17, estipulam-se as condições para compor a permeabilidade de 15% da área dos terrenos ou glebas da macrozona construída, destacando a exigência de 1m³ de caixa de recarga para cada 200 m² de área do terreno, e profundidade mínima de 1,5m entre o fundo do sistema de infiltração e o lençol freático no máximo nível anual.

3. METODOLOGIA

Nesta etapa são descritos procedimentos e os equipamentos e a forma como foram utilizados, descreve também como foram retiradas as amostras de solo para serem ensaiadas no laboratório e os testes em campo para determinar as taxas de permeabilidade e infiltração.

3.1. Ensaios e normas

Para estudo das condições do solo e da capacidade de infiltração, foram realizados uma série de ensaios englobando campo e laboratório, para determinação dos parâmetros do solo. As verificações de campo foram realizadas em uma área delimitada para o ensaio, denominada Campo Experimental, que está situada ao sul da região metropolitana de Goiânia, dentro das dependências do IFG - Câmpus Aparecida de Goiânia.

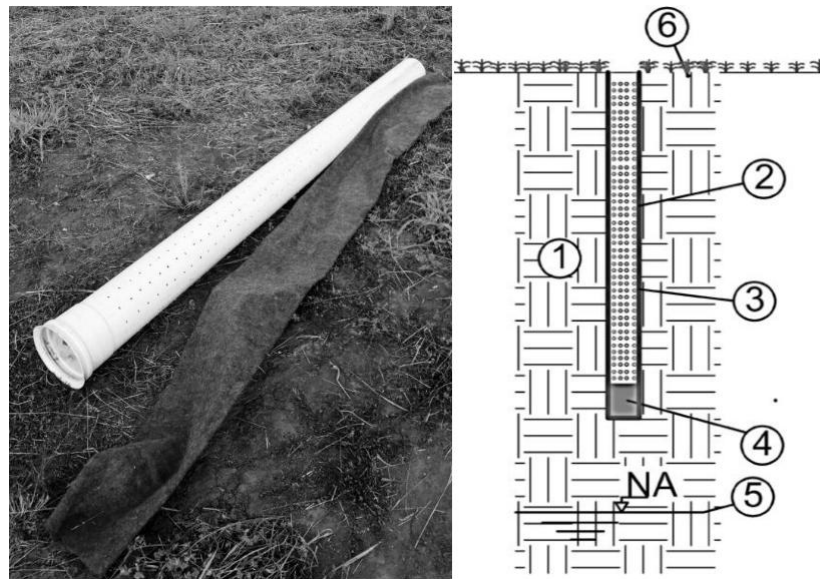
Os ensaios realizados em campo têm a vantagem de estudar o solo na forma em que ele se encontra, sem alterações de pressão, estado físico e relação solo atmosfera. Para esse estudo foram realizados os ensaios de sondagem SPT, monitoramento do lençol freático por meio do piezômetro, obtenção da sucção total em campo e taxa de infiltração em poço de diâmetro reduzido. O monitoramento da profundidade do lençol freático foi feito utilizando um furo de sondagem revestido com tubo de PVC perfurado e medindo a profundidade do lençol com a utilização de piezômetro montado com materiais recicláveis.

O ensaio de sucção em campo foi executado adaptando o modelo utilizado por Silva Junior (2011), em que se utiliza um abrigo para instalação do papel filtro na horizontal dentro de pontos no poço de estudo utilizado em sua pesquisa. O método baseia-se em obter a sucção pelo contato indireto entre o solo e o papel filtro, evitando a passagem de sais presentes na água, medindo assim a sucção total (SILVA JUNIOR, 2011). A adaptação se dá na utilização do abrigo ao papel filtro na posição vertical, inserindo dentro de furos de sondagem, possibilitando a medição da sucção em quatro profundidades diferentes. As medições de foram realizadas duas vezes por mês, com tempo de equilíbrio entre solo e papel filtro de 14 dias corridos. Após a instalação e decorrido os 14 dias, o papel filtro foi retirado do local de medição e cada papel filtro foi envolvido em seu respectivo papel alumínio previamente pesado. Em seguida foram encaminhados rapidamente ao laboratório para aferição da massa, visando não perder umidade do papel filtro para o ambiente.

O ensaio de infiltração em poço foi executado com poço de diâmetro reduzido, observando o método executivo previsto em Carvalho, E., (2008) para poços piloto. Foram perfurados dois poços com trado mecânico, cada um com diâmetro de 200 mm e 3 metros de profundidade. Os poços foram revestidos com tubo de PVC, previamente perfurados e envelopados com manta geotêxtil, e fundo de brita graduada, conforme Figura 2. Realizou-se três enchimentos sucessivos na mesma cota, mantendo assim a mesma carga hidráulica. A aferição da quantidade de água infiltrada foi obtida com a utilização de um transdutor de pressão com

datalogger interno, que possibilitou a medição e o armazenamento automático do nível de água em relação ao tempo.

Figura 2 - Modelo de implantação do poço piloto



Fonte – próprio autor

A Figura 2 mostra o modelo de poço piloto executado, contendo 1- solo, 2- tubo de PVC com 200mm de diâmetro perfurado, 3- manta geotêxtil, 4- fundo com brita graduada, 5- nível de água e 6- vegetação natural.

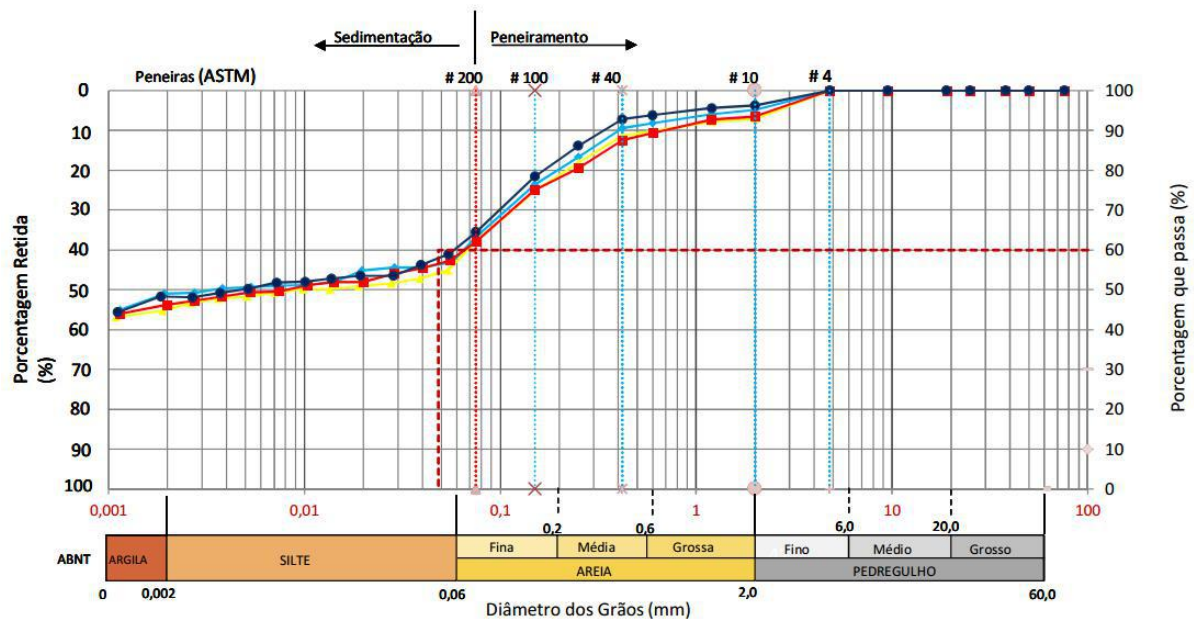
Compondo os ensaios de laboratório estão os ensaios de caracterização como: limites de *Atterberg*, massa específica e ensaios de granulometria. Foram retiradas amostras do perfil de solo considerando as profundidades de 20 cm a 60 cm, 60 cm a 100 cm, 120 cm e 160 cm, e por último, na profundidade de 160 cm a 200 cm. O ensaio de granulometria foi executado com defloculante, conforme Norma 7181 (ABNT, 2016). Os limites de *Atterberg* foram obtidos conforme descrito na Norma 7180 (ABNT, 2016) - Determinação do limite de plasticidade e Norma 6459 (ABNT, 2001) - Determinação do limite de liquidez, classificando melhor as partículas argilosas do solo de acordo com a variação do seu teor de umidade. O ensaio de peso específico dos sólidos foi executado segundo a Norma 6558 (ABNT, 2016). A obtenção da umidade ocorreu conforme a Norma 16097 (ABNT, 2012) - Determinação do teor de umidade.

4. RESULTADOS

Os resultados da classificação do solo não apresentaram variação expressiva entre as quatro profundidades analisadas, segundo os ensaios de granulometria, umidade, massa específica e os limites de consistência. Por esse motivo será tratado como classificação única para toda a profundidade estudada. Todos os resultados foram obtidos de acordo com os métodos experimentais descritos em norma.

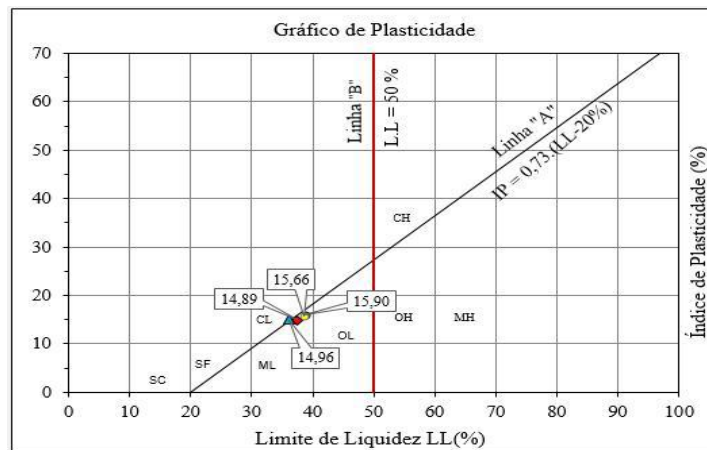
A curva granulométrica (Figura 3) apresenta o resultado do ensaio de granulometria com defloculante, que mostra alto valor de argila. Isso se deve ao fato que o defloculante desagrega os floculos de argila concrecionados, apresentando resultados médios de 47,08% de argila, 11,39% de silte, 36% de areia e 5,53% de pedregulho. O valor obtido para a massa específica está compreendido no intervalo entre 2,365 g/cm³ a 2,430 g/cm³, de acordo com a coleta de amostras para a profundidade de até 2 m.

Figura 3 - Curvas granulométricas do campo experimental 1, das amostras 1 a 4

Fonte – Gomes *et al* (2018)

Para a obtenção dos limites de consistência, pode-se observar como resultado um Índice de Plasticidade (IP) entre 14,89% e 15,90 % entre as amostras ensaiadas. A umidade foi verificada sempre antes das realizações dos ensaios e teve valor encontrado próximo da umidade higroscópica: entre 1,0 e 2,0 % para todas as amostras. O solo pode ser classificado como altamente plástico baseado no IP conforme se verifica na Figura 4.

Figura 4 – Índice de plasticidade das amostras ensaiadas no campo 1

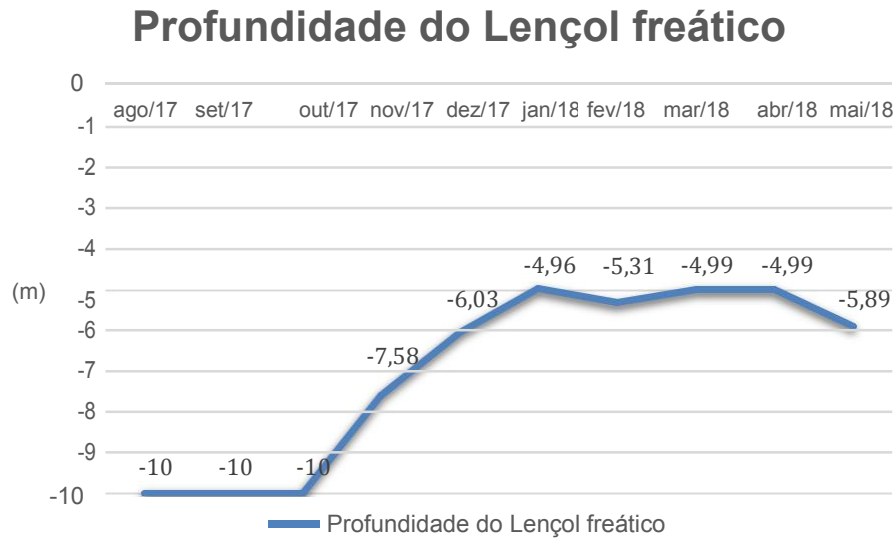
Fonte – Gomes *et al* (2018)

O monitoramento atmosférico foi obtido no campo experimental e validado observando dados da estação do Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (SIMEHGO) nos meses de agosto de 2017 a maio de 2018, com média acumulada para o período de 1398,2 mm de chuva e precipitação máxima em outubro de 2017 com valor de 43,6 mm no dia. Durante o mesmo período os dados referentes ao monitoramento do lençol freático foram obtidos a partir do piezômetro, e a partir deles foi possível traçar uma linha de flutuação do nível d'água para o período de estudo, com a menor profundidade em 4,96 m, em janeiro de 2018, mantendo um nível praticamente constante até o mês de abril do mesmo ano.

Ao observar a Figura 5, é possível perceber a ascensão do nível d'água com o início do período de chuvas, a partir do mês de outubro. Em contrapartida, consegue-se observar o

início do seu rebaixamento a partir do mês de maio com chegada do período de estiagem em Goiás.

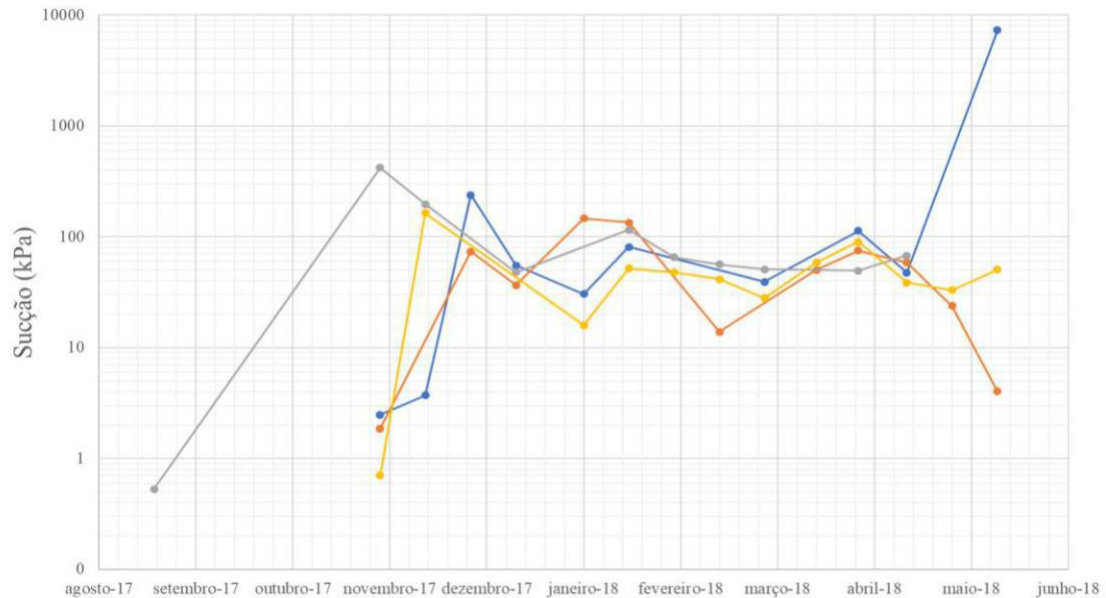
Figura 5 – Profundidade do Lençol Freático



Fonte – Gomes *et al* (2018)

A análise da sucção também foi pautada na avaliação durante o ano. Pode-se observar na Figura 6 que a sua variação seguiu um comportamento uniforme, com valores próximos a 100 kPa, entre os meses de dezembro de 2017 a abril de 2018. Assim como esperado, é possível ver a redução do valor da sucção com o início do período chuvoso e aumento da umidade do solo e também sua ascensão a partir do período de seca, atingindo valores acima de 10.000 kPa.

Figura 6 – Variação da Sucção para as 4 profundidades



Fonte – Gomes *et al* (2018)

Como esperado, o solo apresentou boa permeabilidade, pois a granulometria com defloculante revelou percentual de 36% de areia. O ensaio de infiltração no campo resultou em uma taxa de infiltração igual a $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$, enquadrando o solo estudado na condição de permeabilidade alta, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1– Permeabilidade dos solos

PERMEABILIDADE		TIPO DE SOLO	K (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	Siltes e argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Fonte: Próprio autor

Para consideração de capacidade de infiltração, após obter a taxa média de infiltração, observando os três enchimentos sucessivos, foi utilizado um coeficiente de segurança igual a 3, resultando em uma capacidade de infiltração de volume igual a $1008 \text{ l/m}^2. \text{dia}$. Sendo essa uma taxa de infiltração significativa.

5. CONCLUSÕES

O estudo de parâmetros do solo na região de Aparecida de Goiânia, pode ajudar a dimensionar ou basilar alguns estudos necessários para aplicação em obras de infraestrutura que tenha o solo como alternativa para controlar o escoamento superficial.

Conforme os critérios estabelecidos anteriormente para a implantação de poços de infiltração e considerando as condições do solo do campo experimental, os resultados apresentados classificaram o solo como argilo-arenoso, com alta plasticidade e com boa permeabilidade. Segundo esses parâmetros, o local é propício para a execução de um sistema de infiltração do tipo poço ou outro tipo compatível com o projeto que se pretende implantar. Ao observar os padrões sazonais da região foi possível ver que o pico máximo de ascensão do lençol freático chegando a 4,96 m de profundidade permite uma camada de solo entre o lençol e o

fundo do poço de infiltração superior à mínima estabelecida na lei nº 9.511/2014 da cidade de Goiânia, com valor mínimo de 1,5 m.

Com os resultados de sucção foi possível traçar a CCSA para as quatro profundidades ensaiadas, na qual o resultado no período chuvoso apresentou valores próximos de 100 kPa para toda as profundidades. Porém nesse estudo não foi observado grande influência da sucção em poços de infiltração. Para pesquisas futuras em estruturas de infiltração superficial é sugerida a observação da influência da sucção no processo de infiltração.

A granulometria das amostras com defloculante apresentou resultado com fração de argila superior à de areia. Porém a taxa de infiltração obtida foi igual a $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$, aproximando-se de taxas de infiltração para solos arenosos. Essa característica que tende ao comportamento arenoso pode ser explicada pelo processo de formação de solo tropical predominante em quase todo o território nacional, devido às concreções argilosas, que aumentam o tamanho aparente das partículas de argilas gerando vazios próximos aos de solos arenosos, podendo essas concreções serem desfeitas caso o solo estudado tenha contato com alguma substância defloculante. Considerando o coeficiente de segurança, a capacidade de infiltração para o poço foi de 1008 l/m².dia, sendo esse valor a ser utilizado para dimensionar um poço no local estudado.

A relevância deste trabalho se mostra em servir de base para outras pesquisas no local, como o dimensionamento de poços de infiltração para a região. Fica também a sugestão de um estudo comparativo do desempenho entre outros sistemas de infiltração possíveis para o local, como trincheiras de infiltração, bacias de infiltração e valas de infiltração. Outra sugestão seria a utilização da metodologia do trabalho para o mapeamento de parâmetros de outras regiões da cidade de Aparecida de Goiânia, facilitando a escolha do melhor sistema de infiltração para ajudar a minimizar o efeito das cheias urbanas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IFG Câmpus Aparecida de Goiânia por proporcionar uma formação pública com qualidade aos seus estudantes.

Aos professores que se dedicaram em compartilhar conhecimento e ajudaram nessa formação.

Agradeço aos laboratoristas Bruna e Guilherme que foram de grande ajuda na realização desse trabalho.

Agradeço aos colegas de iniciação científica que compartilharam comigo os erros e acertos durante as pesquisas que realizamos, o conhecimento foi extremamente útil para essa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Arlam Carneiro Silva Junior por ter me orientado nesse trabalho.

Agradeço também a Dr.^a Eufrosina Terezinha Leão de Carvalho pelo apoio e paciência em compartilhar seu conhecimento.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 2016. 12p.

_____. **NBR 7180**: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 2016. 3p.

_____. **NBR 6459**: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ, 2001. 1p.

_____. **NBR 6558**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2016. 1p.

_____. **NBR 16097**: Determinação do teor de umidade, métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2012. 5p.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR, G.F.N.; LEÃO DE CARVALHO, E.T. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília, Faculdade de Tecnologia, UNB. 2012.

CARVALHO, E.T. **Avaliação de elementos de infiltração de águas pluviais na zona norte da cidade de Goiânia**. 2008. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

CARVALHO, E.T.; et al. Poços como estruturas de infiltração. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR, G.F.N.; LEÃO DE CARVALHO, E.T. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília, Faculdade de Tecnologia, UNB. 2012. Cap. 19.

CONCIANI, W.; BURGOS, P.C.; BEZERRA, R.L. Origem e formação dos solos, perfis de intemperismo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR, G.F.N.; LEÃO DE CARVALHO, E.T. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília, Faculdade de Tecnologia, UNB. 2012. Cap. 2.

FREDLUND, D.G.; RAHARDJO & H. FREDLUND, M. D. 2012. **Unsaturated soil mechanics**. John Wiley & Sons, Nova Jersey, EUA, 926 p.

Goiânia. Lei nº 9.51, de dezembro de 2014. **Estabelece regras de controle de águas pluviais e drenagem urbana**. Secretaria Municipal da Casa Civil, Goiânia. 2014.

GOMES, A.N. *et al.* **Estudo experimental da relação entre as condições atmosféricas e de umidade e sucção do solo**. Relatório Final de Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2018.

JACINTHO, E.C. et al. Perfil de intemperismo e infiltração. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR, G.F.N.; LEÃO DE CARVALHO, E.T. (Org.). **Tópicos sobre infiltração**:

teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília, Faculdade de Tecnologia, UNB. 2012. Cap.7.

KAMBINDA, W. **Hydrogeological invetigation of the Naukluft Mountains**, Southwest Namibia a Thesis Submitted in Fulfilment of the requirement for the degree of master of science of the university of Namibia. 2014.

LUIZ, G.C.; MARTINS, L.F.R.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. A influência do clima na infiltrabilidade do solo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR, G.F.N.; LEÃO DE CARVALHO, E.T. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais.** Brasília, Faculdade de Tecnologia, UNB. 2012. Cap. 3.

PEIXOTO, V.C.; **Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana.** Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

REIS, R.P.A.; OLIVEIRA, L.H.; SALES, M.M. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente CONstruido. Porto Alegre, 2008.

RESTREPO, J.S. et al. Avanço da frente de infiltração em solos profundamente intemperizados não saturados. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR, G.F.N.; LEÃO DE CARVALHO, E.T. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais.** Brasília, Faculdade de Tecnologia, UNB. 2012. Cap. 12.

SILVA JÚNIOR, A.C. **Avaliação das flutuações sazonais de umidade e sucção em um perfil de solo tropical.** Dissertação de Mestrado. GECON, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011.

VENDRAME, I.F. **Considerações sobre o emprego de poços de infiltração.** X congresso Brasileiro de águas subterrâneas. ABAS. São Paulo.1998.