



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

LUCAS ABREU GOMES

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO
CAMPO EXPERIMENTAL DE GEOTECNIA E DE FUNDAÇÕES DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

FORTALEZA

2018

LUCAS ABREU GOMES

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO
CAMPO EXPERIMENTAL DE GEOTECNIA E DE FUNDAÇÕES DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G615c Gomes, Lucas Abreu.

Caracterização geotécnica de parâmetros hidráulicos do campo experimental de geotecnia e de fundações da Universidade Federal do Ceará / Lucas Abreu Gomes. – 2018.
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares.

1. Caracterização hidráulica. 2. Campos experimentais. 3. Condutividade hidráulica.. I.
Título.

CDD 628

LUCAS ABREU GOMES

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DO
CAMPO EXPERIMENTAL DE GEOTECNIA E DE FUNDAÇÕES DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Borghetti (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alfran Sampaio Moura
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rosiel Ferreira Leme
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, por sempre me dar apoio e ser o alicerce para todas as minhas conquistas.

À UFC, pelo embasamento teórico acadêmico pertinente para a minha formação profissional.

Ao Prof. Dr. Anderson Borghetti, pela excelente tutoria e orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora, Anderson Borghetti, Alfran Sampaio e Rosiel Leme pelo tempo, pelas valiosas colaborações, sugestões e contribuições.

Ao técnico de laboratório, Anselmo, pelo tempo, suporte e apoio concedido para a realização dos ensaios geotécnicos.

A Carmem, por sempre estar solícita e abdicar de seu tempo e me ajudar em todos os aspectos.

A cada um do meu grupo de amigos, "URMININU", que há mais de 8 anos me dão incentivo e suporte para ir cada vez mais longe.

RESUMO

A caracterização hidráulica do solo permite a obtenção de informações técnicas específicas do solo, referentes ao escoamento de um fluido no solo. As informações sobre a caracterização hidráulica podem ser obtidas por meio de ensaios de campo e laboratório e os resultados podem ser utilizados em projetos de engenharia. A utilização de campos experimentais tem sido utilizada em instituições de pesquisa com intuito estudar o comportamento dos solos, a partir de informações obtidas sobre o comportamento hidromecânico dos solos. O objetivo do trabalho foi fazer uma caracterização hidráulica do solo superficial do campo experimental da Universidade Federal do Ceará (CEGEF-UFC). Para tanto, utilizou a seguinte metodologia: (a) Realização de ensaios de campo, como ensaios de infiltração (anéis concêntricos), de massa específica aparente seca in situ (frasco de areia), e de laboratório, o ensaio de granulometria; (b) determinação de parâmetros físicos do solo e (c) análise dos resultados obtidos. Foram estudados seis locais distintos do campo experimental em questão, determinando parâmetros distribuição dos grãos do solo, massa específica aparente seca, velocidade de infiltração (VI) e condutividade hidráulica (K_{sat}), ou velocidade de infiltração básica (VIB). Os resultados obtidos pela metodologia indicaram, em conjunto, um solo superficial bastante arenoso, de comportamento drenante, com elevada condutividade hidráulica.

ABSTRACT

The soil hydraulic characterization allows the obtaining of specific technical information, referring to the flow of a fluid in the soil. Information on hydraulic characterization can be obtained through field and laboratory tests and the results can be used in engineering projects. The use of experimental fields has been used in research institutions to study the behaviour of soils, based on information obtained on the hydromechanical behaviour of soils. The objective of this work was to make a hydraulic characterization of the surface soil of the experimental field of the Federal University of Ceará (CEGEF-UFC). In order to do so, it used the following methodology: (a) Field tests, such as infiltration tests (concentric rings), specific dry mass in situ (flask of sand), and laboratory tests, granulometry test; (b) determination of soil physical parameters and (c) analysis of the results obtained. Six different sites of the experimental field were studied, determining soil grain distribution, specific apparent dry mass, infiltration velocity (VI) and hydraulic conductivity (K_{sat}), or basic infiltration velocity (VIB). The results obtained by the methodology indicated, together, a very sandy surface soil, with draining behaviour, with high hydraulic conductivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivo.....	8
1.2. Metodologia.....	9
1.3. Relevância	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1. Campos experimentais.....	10
2.2. Ensaio de campo.....	11
2.3. Ensaio de laboratório.....	15
2.3.1. Ensaio de granulometria.....	15
2.4. Fluxo em meios porosos.....	18
3. METODOLOGIA	20
3.1. Local de estudo.....	20
3.2. Ensaio realizados.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1. Ensaio de caracterização física.....	28
4.2. Ensaio de caracterização hidráulica.....	30
4.3. Discussões e interpretações.....	34
5. CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Para todas as etapas de uma obra de engenharia, como elaboração e execução de projetos, é indispensável que haja a caracterização do solo antes da realização de qualquer cálculo ou de tomada decisão. A caracterização do solo permite a obtenção de informações técnicas específicas do solo, para que sejam levadas em consideração nas etapas de planejamento e construção e, assim, evitar possíveis imprevistos ou comportamentos inesperados do solo. A caracterização hidráulica, especificamente, busca identificar o comportamento hidráulico do solo, ou seja, o comportamento e movimentação de um fluido em contato com o solo e a sua interferência no comportamento físico-químico do solo, seja o fluido superficial, subterrâneo ou percolado. Dessa forma, dentre as variáveis que influenciam o fluxo de um fluido o solo, um importante parâmetro de caracterização hidráulica, é denominado condutividade hidráulica (representado pelo símbolo " K_{sat} "), a qual é definida por uma relação entre a velocidade de fluxo do fluido e o gradiente hidráulico da água. Pode-se definir a permeabilidade como a facilidade com que determinado solo conduz/transporta a água, levando em consideração a espessura (camada) e o teor de umidade do solo, atingindo seu valor máximo na condição de saturação do solo. Entretanto, a condutividade hidráulica, por si só, não define as características hidráulicas de um terreno, é preciso determinar diversos outros parâmetros hidráulicos, como porosidade, permeabilidade e retenção, para que se obtenha uma caracterização completa e significativa do solo, identificando, dessa forma, o perfil hidráulico do terreno analisado.

1.1. Objetivo

Este trabalho tem o objetivo de caracterizar propriedades geotécnicas do solo do Campo Experimental de Geotecnia e de Fundações da Universidade Federal do Ceará, com ênfase em parâmetros hidráulicos do solo, como a permeabilidade saturada além da obtenção de informações sobre a textura (análise granulométrica) e estrutura do solo in situ (densidade).

1.2. Metodologia

A caracterização partirá da definição de uma malha de amostragem, definida de acordo com a distribuição territorial do campo experimental, com a realização de ensaios de infiltração in situ, utilizando o método dos anéis concêntricos para a determinação da velocidade de infiltração do fluido no solo e consequentemente a sua condutividade hidráulica, de densidade in situ, aplicando o método do frasco de areia a fim de caracterizar fisicamente o solo, determinando o seu peso específico seco, e ensaios de granulometria em laboratório, a partir de amostras deformadas, para fins de caracterização das partículas do solo quanto ao tamanho e distribuição dos grãos nas profundidades de 20 e 40 centímetros.

1.3. Relevância

Este trabalho buscou, a geração de dados geotécnicos para um determinado tipo de solo, para utilização em futuras pesquisas ou projetos. Ao se determinar o tipo de solo analisado e os seus parâmetros geotécnicos hidráulicos de acordo com a normalização vigente, abre-se a prerrogativa e a possibilidade de extrapolação dos resultados e comportamentos encontrados para outras situações que apresentem características semelhantes às apresentadas, servindo como acervo técnico à elaboração e execução de projetos de engenharia diversos, como projetos de irrigação, drenagem, modelagem de plumas subterrâneas, recuperação de áreas degradadas, barragens, utilização de fertilizantes, comportamento de áreas alagadas, erosão, lixiviação, entre outros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Campos experimentais

No Brasil, algumas instituições de ensino e de pesquisa que estudam o comportamento dos solos para diferentes aplicações (engenharia, agricultura, agronomia, etc.) possuem, em seu domínio, campos experimentais. Isso ocorre pelo fato de que o desenvolvimento de muitas pesquisas e entendimento dos fenômenos e processos envolvidos, tende a ser maior quando se obtém dados experimentais, como por exemplo em áreas de testes que representem um comportamento do solo quando submetido a diferentes condições de carregamento. Tais áreas testes são denominadas de campos experimentais. Os campos experimentais, de forma geral, contribuem para realização de ensaios e testes, na produção literária para difusão de conhecimentos e na especialização acadêmica, tanto dos pesquisadores quanto dos leitores das produções geradas pela pesquisa.

De acordo com Antunes (2012), diversas pesquisas e estudos realizados por pesquisadores em campos experimentais no Brasil, além de investigações e experiências ocorridas no cotidiano da engenharia geotécnica tem contribuído, constantemente, no conhecimento de diferentes perfis geotécnicos das mais diversas regiões. Ademais a boa qualidade de uma amostragem se torna fundamental na obtenção de parâmetros que representem com maior fidelidade as condições reais de campo, minimizando as incertezas, antes e durante a fase de execução de obras e intervenções geotécnicas.

Segundo Cavalcante *et al.* (2007), há duas principais motivações para a criação dos campos experimentais: (a) O estudo de situações que a prática da engenharia geotécnica passou a exigir em função dos problemas encontrados localmente e (b) a necessidade do desenvolvimento de pesquisas para criação ou consolidação de programas de pós-graduação em Universidades.

Os campos experimentais refletem condições locais naturais de uma determinada região de estudo, garantindo, assim, a qualidade e representatividade das pesquisas realizadas. Entretanto, justamente devido à sua importância na representatividade, os campos experimentais são, geralmente, bastante modificados pelo homem para a realização de ensaios, provocando assim, algumas perdas das características originais do solo, como o amolgamento do solo, aumento ou diminuição de tensões e poro pressão e alteração da resistência e/ou coesão, como

constatado por Cavalcante *et al.* 2007, em seus estudos com campos experimentais brasileiros.

Pode-se citar, como exemplo, os estudos realizados nos campos experimentais de Sarapuí - SP e da UNESP – Bauru, apresentados por Cavalcante *et al.* (2007), onde foram executados ensaios de caracterização geotécnica dos campos, incluindo ensaios de campo e laboratório. Foram realizados diversos ensaios, como de resistência, compressibilidade, permeabilidade, sondagens à percussão (SPT), adensamento, entre outros, com o objetivo de caracterizar os campos experimentais nas diferentes regiões e gerar conhecimento e evidências acerca do tipo e comportamento do solo da região. Foram elaborados, por fim, conclusões e perspectivas decorrentes dos resultados encontrados à título de informação técnica do solo, caracterização e formação acadêmica e profissional.

2.2. Ensaios de campo

A determinação da condutividade hidráulica e consequente caracterização hidráulica do solo pode ser feita por meio da combinação de ensaios de campo e laboratório.

Os ensaios de campo englobam a análise do solo *in situ*, conservando seu estado e condições naturais. Entretanto, alguns aparelhos/maquinários de análise são inviáveis de serem levados à campo, limitando assim a realização de ensaios em laboratório. Dentre os ensaios de campo, ressalta-se, para este trabalho, o ensaio de infiltração, que permite a determinação da velocidade de infiltração vertical de um fluido no solo, e o ensaio de massa específica aparente *in situ*, que determina a relação entre a massa e o volume do solo, possibilitando, assim, uma correlação entre a massa específica encontrada com parâmetros hidráulicos.

2.2.1. Infiltrômetro – Anéis concêntricos.

O ensaio do infiltrômetro tem como objetivo a determinação da taxa de infiltração de um fluido do solo, ou seja, a capacidade de penetração vertical de uma determinada quantidade de fluido no solo em um determinado horizonte de tempo, o que resulta na determinação da velocidade de infiltração.

A velocidade de infiltração é vastamente estudada e ainda não surgiu um consenso bem estabelecido sobre qual é a melhor técnica para a sua determinação. Sabe-se, entretanto, que a infiltração da água no solo deve ser mensurada por meio de técnicas capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo (Cunha *et al.*, 2009).

De acordo com Fagundes *et al.* (2012), vários métodos de campo podem ser utilizados para determinar a velocidade de infiltração de um solo, dentre eles destaca-se o método do infiltrômetro de anel, por ser simples e de fácil execução. O método consiste no posicionamento concêntrico *in situ* de dois anéis metálicos cilíndricos de diâmetros de 50cm e 25cm e de mesma altura de 25cm, os quais são preenchidos com água para a verificação da velocidade de infiltração vertical da água em determinado solo, ao longo do tempo (Figura 1).

De acordo com BERNARDO *et al.* (2006), a velocidade de infiltração depende diretamente da granulometria e da estrutura dos solos, como também do teor de umidade, da temperatura e da porosidade do solo, com a existência de camada menos permeável ao longo do perfil de profundidade, falhas, da cobertura vegetal, entre outros.

Segundo Alves Sobrinho *et al.* (2003), o usual é obter-se uma elevada taxa de infiltração no primeiro momento, onde o solo está seco, apresentando uma diminuição gradual à medida que o solo se torna saturado.

O ensaio, portanto, consiste no posicionamento de dois anéis metálicos, de diâmetros diferentes e mesma altura, concentricamente sobre a superfície raspada do solo a ser estudado. Os anéis, então, são preenchidos com água simultaneamente, e é feito o acompanhamento do rebaixamento do nível da água do anel interno, com o tempo, utilizando uma régua. Assim, ao relacionar o volume de água rebaixado (infiltrado) pelo tempo, é encontrada a velocidade de infiltração do fluido no solo. O que possui direta ligação com a permeabilidade do solo, pois quanto maior a velocidade de infiltração encontrada, maior será a capacidade do solo de escoar o fluido e, conseqüentemente, maior será a sua permeabilidade.

Figura 1 - Ensaio de infiltração, método aneis concêntricos.



Fonte: Autor.

2.2.2. Massa específica aparente in situ – Frasco de Areia.

A determinação da massa específica aparente do solo é de fundamental relevância quando se busca a caracterização e a obtenção de parâmetros hidráulicos de um solo. A massa específica aparente é, por definição, a relação entre a massa de solo seco e o volume do solo. Há uma, portanto, uma relação entre massa específica, o índice de vazios, a porosidade e a condutividade hidráulica. Para um dado volume de solo, quanto menor for a massa específica, maior será o volume de vazios e a porosidade por onde ocorre o escoamento de fluidos.

A densidade reflete o comportamento dos solos no tocante à porosidade, permeabilidade, compactação, taxa de infiltração e indica presença de material vulcânico no solo e grau de intemperização (IBGE, 2007, p. 255).

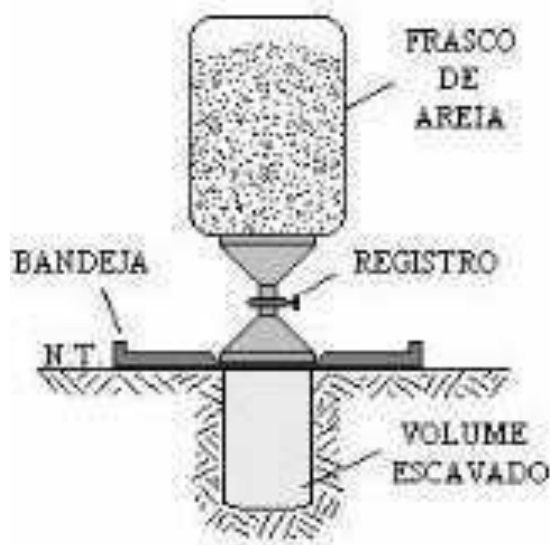
A porosidade exprime o volume total de poros contidos na amostra, sendo de extrema importância ao processo de infiltração, drenagem e retenção de água, e, portanto, para a caracterização hidráulica do solo (IBGE, 2007, p. 246-257).

A massa específica aparente pode ser obtida por diversos métodos, entretanto, relacionados à métodos in situ, destaca-se o método do frasco de areia, regulado pela norma brasileira NBR 7185 ABNT (2016) - "Solo – Determinação da massa específica aparente in situ, com o emprego do frasco de areia".

Esse método se aplica a solos de qualquer granulação, contendo ou não pedregulhos, que apresentem um certo nível de coesão que possam ser escavados com ferramentas de mão sem risco de desmoronamento das paredes e cujos vazios naturais sejam suficientemente pequenos, de forma a evitar que a areia usada no ensaio penetre nos mesmos.

O método consiste, fundamentalmente, em abrir uma cava de aproximadamente 10 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade, a partir da superfície do solo a ser estudado, retirar o material escavado, pesá-lo, determinar o teor de umidade pelo método da estufa e determinar a massa seca. Em seguida, pesa-se um conjunto contendo um funil metálico acoplado a um frasco de plástico que contém areia de peso específico conhecido (previamente calibrada). Posiciona-se o conjunto (frasco+areia+funil) sobre o furo, abrindo o funil de modo a permitir que a areia preencha o furo. Após esta operação, pesa-se novamente o conjunto (frasco+areia+funil). Assim, conhecendo o peso específico da areia colocada e a diferença do peso do conjunto antes e depois da inserção da areia na cava, é possível obter o volume da cava. A massa específica aparente seca do solo será dada pela relação entre o peso seco do solo escavado e o volume do furo (que é o mesmo volume ocupado pela areia do frasco).

Figura 2 - Representação conjunto (frasco de areia e funil), bandeja e cava.



Fonte: Laboratório de Mecânica dos solos da UFAM.

2.3. Ensaio de laboratório

Os ensaios de laboratório envolvem a coleta de amostras do solo, deformadas ou indeformadas, para posterior análise ex situ. Isso se dá devido a necessidade de utilização de aparelhagem e equipamentos restritos ao laboratório, os quais têm o objetivo de simular ou impor condições favoráveis à análise dos parâmetros do solo a serem obtidos. Dentre os ensaios de laboratório, destaca-se, neste trabalho, o ensaio de granulometria, que visa a caracterização física dos grãos do solo (dimensão e distribuição granulométrica), a qual está diretamente ligada a caracterização hidráulica pela inter-relação entre o tamanho do grão e a permeabilidade do solo. A porosidade também é outro fator importante, pois dois solos com mesma distribuição granulométrica e argilo-minerais apresentam diferentes permeabilidades para diferentes porosidades.

2.3.1. Ensaio de granulometria

O solo é um meio particulado, ou seja, ocorre sob a forma de partículas, ou melhor, de grãos, os quais coexistem sob diversas constituições minerais e com um amplo leque de tamanhos, dimensões e distribuição ao longo de um perfil do solo. Muitas das propriedades físicas do solo, podem ser função do formato, distribuição, composição dos grãos e pelos arranjos entre as partículas (vazios e estrutura). As

informações sobre a textura do solo podem ser obtidas através da análise granulométrica utilizando o ensaio de granulometria, conforme a norma “NBR 7181 – ABNT (2016) – Solo – Análise granulométrica”.

Um solo pode ser classificado como pedregulho, areia, silte ou argila, dependendo do tamanho das partículas predominantes presentes, e, portanto, assume-se que o comportamento do solo como um todo é ditado pela influência dos grãos predominantes. A identificação das dimensões e distribuição das partículas é feita a partir de ensaios de granulometria, a partir de amostras deformadas. Com base nos ensaios, é realizada a análise granulométrica, a qual objetiva determinar as dimensões das partículas e suas proporções relativas de ocorrência, de forma a se obter o traçado da curva granulométrica de um determinado solo. A curva granulométrica apresenta intervalos de variação do tamanho das partículas de cada um dos grupos de solos, o que é utilizado na classificação dos solos, de acordo como sistema de classificações, como o Sistema Único Classificação de Solos - SUCS.

O ensaio de granulometria pode ser executado por três metodologias:

(a) Por peneiramento (grossos e finos) para solo granular, onde todas as partículas da amostra apresentarem diâmetros dos grãos superiores a 0.075 mm; (b) Sedimentação para solos finos, quando todas as partículas da amostra apresentarem diâmetros dos grãos inferiores a 0.075 mm; (c) Análise granulométrica conjunta, que compreende tanto o peneiramento quanto a sedimentação (solos com partículas grossas e finas).

O ensaio é regido de acordo com o especificado na norma brasileira “NBR 7181 – ABNT (2016) – Solo – Análise granulométrica”, e a amostra passa por um processo prévio de preparação (secagem, destorroamento, homogeneização, repartição e peneiramento) de acordo com o estabelecido na norma brasileira “NBR 6457 – ABNT (2016) - Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização”. A amostra, então, é pesada inicialmente e em seguida passada na peneira de 2 mm para se separar as parcelas fina e grossa (a qual ficará retida), e o material retido é lavado na própria peneira para retirar possíveis partículas finas aderidas. Esse material é então secado em estufa, pesado (peso seco da parcela grossa) e passado nas peneiras de 50, 38.1, 25.4, 19.1, 9.5, 4.8 e 2.0 mm de diâmetro, em série, conforme ilustrado na figura 3. Pesa-se, por fim, as frações retidas em cada peneira e é calculado as percentagens do material retido e acumulado em cada uma das peneiras, em relação ao peso da amostra total seca. Esta etapa permite

obter a curva granulométrica de partículas com diâmetros acima de 2.0 mm (peneiramento grosso).

Em seguida, prossegue-se para o peneiramento da parcela fina (passante na peneira de 2 mm). Retira-se cerca de 120g desse material úmido, retirando amostras, do material passante na peneira de 2 mm, e 100g para determinação da umidade higroscópica pelo método da estufa. Procede-se a etapa de sedimentação (mistura de solo+defloculante+água) em provetas, onde é medida a densidade da solução ao longo do tempo, permitindo obter a curva granulométrica dos grãos com diâmetros inferiores a 0,075mm. Concluída esta etapa de sedimentação verte-se solução pela peneira de 0,075mm e o material retido é então seco em estufa para a realização do peneiramento fino, com as peneiras de 1.2, 0.6, 0.42, 0.30, 0.15 e 0.075 mm de diâmetro, em série. Por fim, pesa-se as frações retidas em cada peneira e é calculado as percentagens do material retido e acumulado em cada uma das peneiras, em relação ao peso da amostra inicial de finos seca, para frações entre 2,0mm e 0,075mm.

Com as percentagens retidas, e conseqüentemente as percentagens que passa, em cada peneira, sabe-se a distribuição e as dimensões das partículas do solo, e então é traçado a curva granulométrica do solo, onde o eixo horizontal representa o diâmetro dos grãos (de acordo com o diâmetro na peneira) e o eixo vertical as porcentagens que passam nas respectivas peneiras.

Figura 3 - Peneiramento em série.



Fonte: Autor.

2.4. Fluxo em meios porosos.

O estudo de caracterização geotécnica de parâmetros hidráulicos só é possível ser realizado pela presença de porosidade no meio estudado, estando o solo saturado ou não. A porosidade atua como caminhos ou canais presentes no solo pelos quais se faz possível o escoamento ou fluxo de um fluido neste.

A determinação do fluxo de água em meio poroso pode fornecer, assim, por exemplo, o conhecimento a respeito do comportamento de contaminantes, ou do transporte de contaminantes, que constitui uma massa de alguma substância tóxica dissolvida (poluente) movendo-se com algum fluido (água) nos vazios do solo (Nobre, 1987). Com isso, é possível planejar técnicas e abordagens de remediação mais eficazes, diminuindo, assim, o tempo de contato do contaminante com o meio poroso ou com possíveis fluidos presentes. Quanto maior a velocidade com que um fluido escoar pelo meio poroso, menor é o tempo de contato desse fluido (e de possíveis substâncias nele contidas/dissolvidas) com o solo, e como resultado, menor será a contaminação gerada neste local (Costa *et al.*, 1999). Por outro lado, com uma maior velocidade de escoamento, maior será o espalhamento desse fluido para regiões

vizinhas, com possibilidades de disseminação do contaminante, caso não haja uma contenção.

O fluxo em um meio poroso, entretanto, pode ocorrer de diversas formas e, muitas vezes, apresenta comportamento inusitado, tornando a sua modelagem complexa. Existem, portanto, tipos diferentes de fluxos, a depender tanto do meio poroso (saturado ou não-saturado) quanto do fluido escoador (monofásico, com somente uma fase móvel, ou multifásico com mais de uma fase móvel).

Portanto, a caracterização e o conhecimento do meio poroso (solo) retratam bastante do perfil escoamento, e conseqüentemente da assimilação do fluxo, ao determinar parâmetros como dimensão e distribuição dos grãos, velocidade de infiltração e escoamento,

3. METODOLOGIA

Nessa seção é apresentada a metodologia utilizada para a determinação do local de estudo e para a realização dos ensaios geotécnicos. Os ensaios foram executados em 2 etapas, onde a primeira corresponde aos ensaios de campo de infiltração e massa específica seca in situ, realizados no CEGEF-UFC, e a segunda se refere ao ensaio de laboratório de granulometria, realizado no laboratório de mecânica dos solos e pavimentação da UFC Campus do Pici.

3.1. Local de estudo

Os ensaios para a determinação dos parâmetros hidráulicos foram realizados no Campo Experimental de Geotecnia e de Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF-UFC), localizado no Campus do Pici, no bairro Planalto Pici, em Fortaleza/CE, próximo ao departamento de educação física e ao campo poliesportivo da UFC (Figura 5). O campo experimental é uma área aberta e descampada, sujeito à intemperes e a ações naturais. O campo experimental possui dimensões de 22,5 x 40,0 metros, com uma área de 900m². O CEGEF-UFC apresenta vegetação mista, com presença de vegetação rasteira, arbustiva e robusta espaçada, com características de crescimento e estabilização naturais, conforme ilustrado na Figura 4. Ademais, percebe-se uma intensa interferência antrópica no campo experimental, com a presença de diversas cavas, gradação de coloração do solo, resíduos sólidos superficiais e subterrâneos e blocos de concreto instalados. Isso se dá justamente pela a realização de diversos outros ensaios de campo para a geração de materiais acadêmicos e pela interferência da comunidade vizinha (Planalto Pici).

Figura 4 - Campo experimental da UFC, Campus do Pici.



Fonte: Autor.

Figura 5 - Área do campo experimental de Geotecnia e de fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF-UFC).



Fonte: Google Earth.

A área indicada na Figura 5 representa o campo experimental utilizado para realização da pesquisa e dos ensaios de campo para que houvesse uma melhor representatividade dos parâmetros estudados. Dentro da área total em planta do CEGEF-UFC, optou-se por subdividir em 6 partes iguais, nomeadas de células C1,

C2, C3, C4, C5 e C6, de dimensões aproximadas de 11,25 x 13,3 metros, com uma área de 149,6 m² cada (Figura 6).

Figura 6 - Subdivisão do CEGEF-UFC em células.



Fonte: Google Earth

3.2. Ensaio realizados.

a) Infiltrômetro

A fim de se obter parâmetros qualificados para a caracterização hidráulica do solo do CEGEF-UFC, foram realizados ensaios de infiltração em campo com o objetivo de determinar a taxa de infiltração direta de um fluido do solo, ou seja, as curvas de infiltração e a velocidade de infiltração vertical da água no solo a partir da superfície. Para isso, foram realizados 6 ensaios in situ, um em cada célula destacada anteriormente, com a finalidade de se obter resultados mais significativos que representem toda a extensão do campo experimental em questão.

Existem diversos métodos e técnicas para se determinar a taxa de infiltração, o método utilizado nesta pesquisa foi o método do infiltrômetro de anéis concêntricos, baseado na metodologia apresentada por BERNARDO *et al.* (2006) de acordo com a Norma americana "ASTM D3385 – 09". Portanto, instalou-se

devidamente os anéis no centro de cada célula do CEGEF-UFC, por volta das 9 horas da manhã, após uma raspagem superficial prévia do solo de aproximadamente 8 centímetros. Após a instalação dos anéis, enterrando-os no solo até cerca de 2 centímetros, colocou-se o revestimento plástico do anel central, preencheu-se os anéis simultaneamente com água. O ensaio iniciou com a retirada do revestimento plástico do anel central (Figura 7), com realização de leituras, com uma régua, da variação da altura da lâmina de água no anel interno, nos intervalos de tempo em minutos de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 e 120, utilizando um cronômetro.

Figura 7 - Inserção da manta plástica no anel interno.



Fonte: Autor.

À medida que o nível de água dos anéis baixava a um limite de aproximadamente 1 a 5 centímetros do solo, eram realizadas reposições de água, tanto no anel externo quanto no interno, as deste último eram medidas e contabilizadas para o cálculo final de volume de água infiltrado. A partir dos dados obtidos pôde-se determinar a velocidade de infiltração da água no solo ao relacionar o volume de água infiltrado pelo tempo correspondente a esta infiltração. A velocidade de infiltração encontrada possui uma correlação com a permeabilidade do solo, pois a velocidade de infiltração é exatamente a velocidade de escoamento vertical da água

no solo, que está relacionada com a conectividade de vazios do solo (canais), interpretada como a permeabilidade.

Figura 8 - Aparelhagem para ensaio de infiltração (anéis concêntricos e régua).



Fonte: Autor.

Ao final do ensaio, tem-se os valores de velocidade de infiltração em função do tempo decorrido. Entretanto os pontos encontrados experimentalmente devem ser ajustados a curva de infiltração, a qual indica um decréscimo da infiltração com o tempo, até que se atinja uma constância ou equilíbrio (em que a velocidade de infiltração pouco se modifica com o tempo), definida como velocidade de infiltração básica (VIB), ou condutividade hidráulica saturada de campo (K_{sat}).

b) Ensaio de massa específica aparente in situ

Em cada célula onde foi realizado o ensaio de infiltração, foi feita a determinação da massa específica do solo. O método de ensaio utilizado para tal determinação foi o método do frasco de areia, reproduzido de acordo com o

regulamentado pela norma brasileira “NBR 7185 – ABNT (2016) – Solo – Determinação da massa específica aparente *in situ*, com o emprego do frasco de areia”. Para tanto, primeiramente realizou-se a calibração do conjunto (frasco + funil + areia) no laboratório, para se obter a massa de areia que preenche o funil do frasco e a massa específica aparente seca da areia contida do frasco. Em seguida levou-se o conjunto para campo para a realização dos ensaios *in situ*. Colocou-se a bandeja no centro de cada célula do CEGEF-UFC e escavou-se a vala de aproximadamente 15 centímetros com um martelo e uma talhadeira (Figura 9). O material retirado da escavação vou separado e pesado (Figura 10). Em seguida, pesou-se o conjunto (frasco+areia+funil), posteriormente posicionando o funil sobre o orifício da bandeja. Após isto, abriu-se o registro do funil permitindo que a areia escoasse para dentro da cava, até que toda a cava fosse preenchida (conforme figura 12). Após o preenchimento da cava, pesou-se o conjunto novamente (frasco+areia+funil), para determinar o peso de areia contida dentro da cava (descontando-se o volume de areia dentro do funil previamente determinado). Coletou-se uma pequena amostra do solo escavado para a determinação da umidade em laboratório através do método da estufa, e se fez os cálculos necessários para a determinação da massa/peso específica aparente seca do solo.

Figura 9 - Escavação da vala.

Figura 10 - Pesagem do material retirado.



Fonte: Autor.

Figura 11 - Materiais utilizados.



Figura 12 - Cava preenchida com areia.



Fonte: Autor.

c) Ensaio de granulometria.

Visando caracterizar fisicamente o solo do CEGEF-UFC, realizou-se, também, ensaios de granulometria. A análise granulométrica, permite determinar as faixas de tamanhos dos grãos do solo em questão, facilitando a visualização do perfil litológico predominante no solo. Com isso, foi possível traçar a curva granulométrica da superfície e subsolo do campo experimental em questão para as profundidades de 20 e 40 centímetros. Finalmente, foi realizado a classificação física das camadas do solo de acordo com a faixa de tamanho predominante, para posteriormente confrontar com os demais ensaios realizados e associar o perfil de escoamento hidráulico do campo experimental.

Foram coletadas duas amostras deformadas em um ponto central (entre as células C₃ e C₄) do CEGEF-UFC nas profundidades de 20 e 40 centímetros (Figura 13) para a execução dos ensaios de acordo com a norma reguladora "NBR 7181 – ABNT (2016) – Solo – Análise granulométrica". Realizou-se, ainda, a preparação das amostras coletadas em campo seguindo a "NBR 6454 – ABNT (2016) – Amostras de

solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”. Conforme a norma, foram realizados os processos de peneiramento fino em série, utilizando peneiras com diâmetros de 0,6, 0,42, 0,3, 0,15 e 0,075 metros para a caracterização da parcela fina do solo, enquanto no peneiramento da parcela granular (grossos) o material foi todo retido na peneira de 2 milímetro (peneira nº 10). Além disso, foram coletadas 3 amostras de solo para cada profundidade, e determinado o teor de umidade através do método da estufa.

Figura 13 - Coleta das amostras nas profundidades de 20 e 40 cm.



Fonte: Autor.

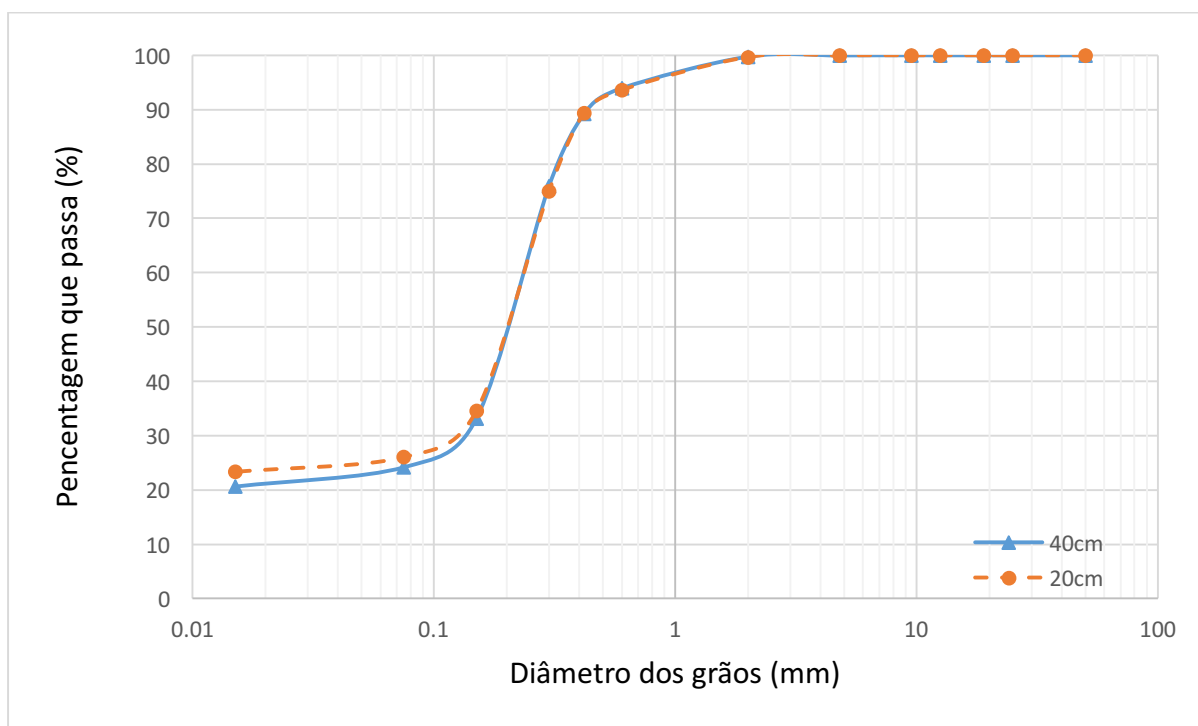
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Serão apresentados, nesta seção, os resultados decorrentes dos ensaios realizados, citados na metodologia, no local de estudo definido (CEGEF-UFC). Ademais, os resultados encontrados serão analisados, discutidos e comparados com a literatura a fim de se obter, posteriormente, conclusões significativas para o trabalho.

4.1. Ensaios de caracterização física.

Com as duas amostras deformadas coletadas em campo nas profundidades de 20 e 40 cm a partir da superfície do CEGEF-UFC (conforme ilustra a figura 13), traçou-se as curvas granulométricas referentes a cada uma destas duas profundidades (Figura 14).

Figura 14 - Curva granulométrica nas profundidades de 20 e 40 cm.



Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 14 e pela análise tátil-visual realizada, percebe-se que se trata de um solo arenoso, homogêneo sem muita diversificação de tamanho de grãos, mal graduada, apresentando aproximadamente 21% de material fino (Silte e argila), sendo classificado, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), como areia siltosa (SM) Nota-se, ainda, que a diferença de profundidade não possui impacto significativo quanto a granulometria analisada, apresentando apenas um singelo aumento na quantidade de finos, cerca de 1,5%. A partir das amostras coletadas para o ensaio de granulometria, coletou-se uma parcela das amostras das profundidades de 20 e 40 cm para a obtenção da umidade natural em cada profundidade em laboratório pelo método da estufa. Para tanto, foram extraídas 3 amostras de cada profundidade e submetidas à estufa de 105°C por cerca de 14 horas. Finalmente adotou-se a média aritmética como umidade natural. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Umidade natural do solo nas profundidades de 20 e 40 cm.

Profundidade	Teor de umidade	
20cm	W1(%)	0.986
	W2(%)	0.980
	W3(%)	0.949
	W (%)	0.972
40cm	W1(%)	1.004
	W2(%)	0.987
	W3(%)	1.024
	W (%)	1.005

Fonte: Autor.

Os resultados da Tabela 1 demonstram um pequeno aumento desprezível da umidade com o aumento da profundidade, de 0,97% para 1,00%. Infere-se, de antemão, que o solo em questão manifesta características inerentes a solos granulares, como comportamento de material drenante, por exemplo.

No centro de cada célula do CEGEF-UFC destacada anteriormente, realizaram-se ensaios de massa específica aparente seca in situ, através do método do frasco de areia, e com isso, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Peso específico aparente seco do CEGEF-UFC.

		Célula 1	Célula 2	Célula 3	Célula 4	Célula 5	Célula 6	
PESO FRASCO DE AREIA	Antes (g)	5618	6010	5740	5816	5998	5732	
	Depois (g)	3102	3532	3252	3606	3542	3520	
	Diferença (g)	2516	2478	2488	2210	2456	2212	
Massa solo úmido (g)		2482	2104	2086	1956	2418	1972	
Umidade (%)		0,88	0,64	0,82	0,31	0,76	0,27	
Massa solo seco (g)		2460,46	2090,68	2069,03	1949,90	2399,87	1966,63	
Massa específico areia (g/cm ³)		1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	
Massa areia do funil (g)		470	470	470	470	470	470	
Volume do furo (cm ³)		1550	1521,21	1528,79	1318,18	1504,55	1319,70	
Massa específico solo seco (g/cm ³)		1,587	1,374	1,353	1,479	1,595	1,490	
MASSA ESPECÍFICO APARENTE MÉDIA SOLO SECO (g/cm³)							1,480	

Fonte: Autor.

Observa-se uma pequena variação nos resultados encontrados para cada célula, o que representa uma certa heterogeneidade da densidade do solo do campo experimental se consideramos toda a sua extensão. O valor de densidade aparente seca média encontrado foi de 1,48 g/cm³.

4.2. Ensaio de caracterização hidráulica.

Foram realizados 6 ensaios de infiltração in situ, correspondentes a cada célula destacada anteriormente do CEGEF-UFC, utilizando o método dos anéis concêntricos. Para cada célula, então, fez-se o ajuste equacional das leituras de campo para se obter a relação entre a infiltração acumulada (I) da água no solo (cm) pelo tempo total decorrido (t em min), de acordo com a seguinte expressão potencial, (Bernardo et al., 2005):

$$I = a.t^n \quad (I)$$

onde:

I = Infiltração acumulada (cm);

a = Constante função do tipo de solo;

n = Constante função do tipo de solo (Varia entre 0 e 1);

Para determinação das constantes (a e n), aplica-se o logaritmo na função de infiltração acumulada:

$$\log(I) = \log(a) + n \cdot \log(t) \quad (II)$$

$$Y = A + B \cdot X \quad (III)$$

Onde:

$$Y = \log(I);$$

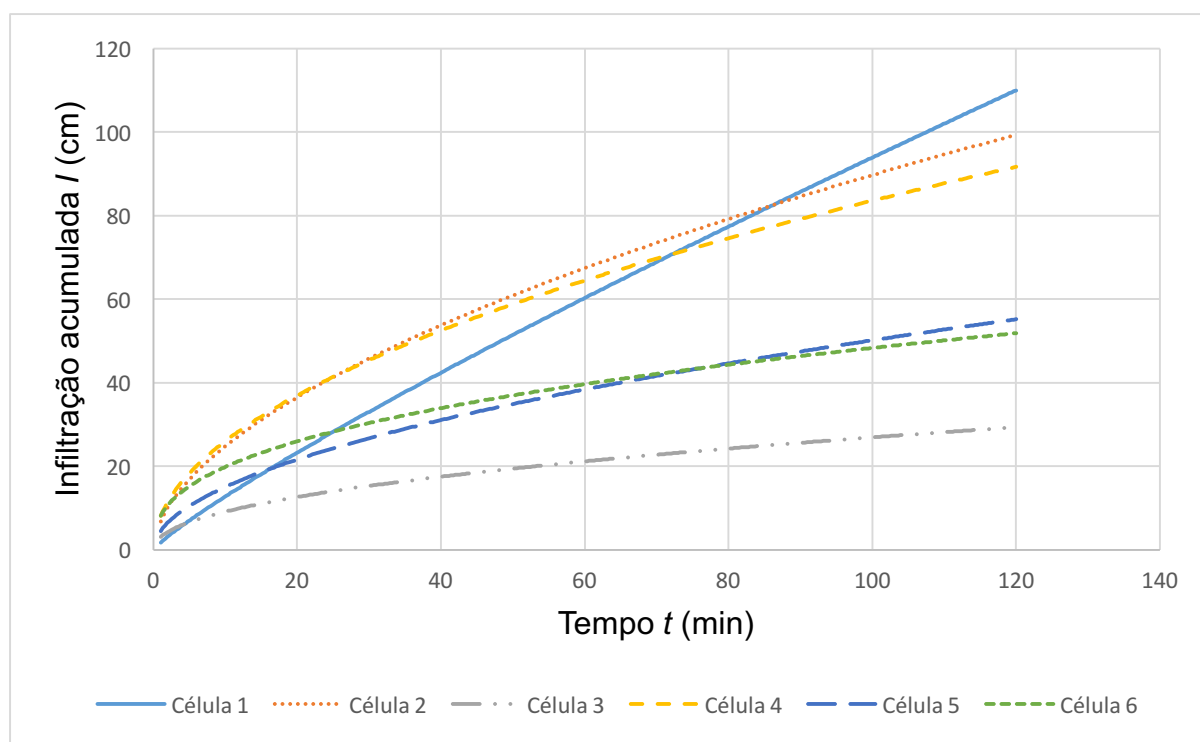
$$A = \log(a);$$

$$B = n;$$

$$X = \log(t);$$

Através do método da regressão linear, encontra-se os valores de A e B , e se obtém as representações gráficas para cada célula, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Infiltração acumulada-em todas as células.



Fonte: Autor.

A partir disso, foi possível encontrar, também, a equação que relaciona a infiltração (I) com o tempo (t) para todas as células ensaiadas, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações de Infiltração.

Célula	Infiltração (cm)
C ₁	$I = 1,72 \times t^{0.87}$
C ₂	$I = 1,74 \times t^{0.78}$
C ₃	$I = 0,98 \times t^{0.66}$
C ₄	$I = 2,34 \times t^{0.71}$
C ₅	$I = 1,25 \times t^{0.73}$
C ₆	$I = 3,16 \times t^{0.54}$

Fonte: Autor.

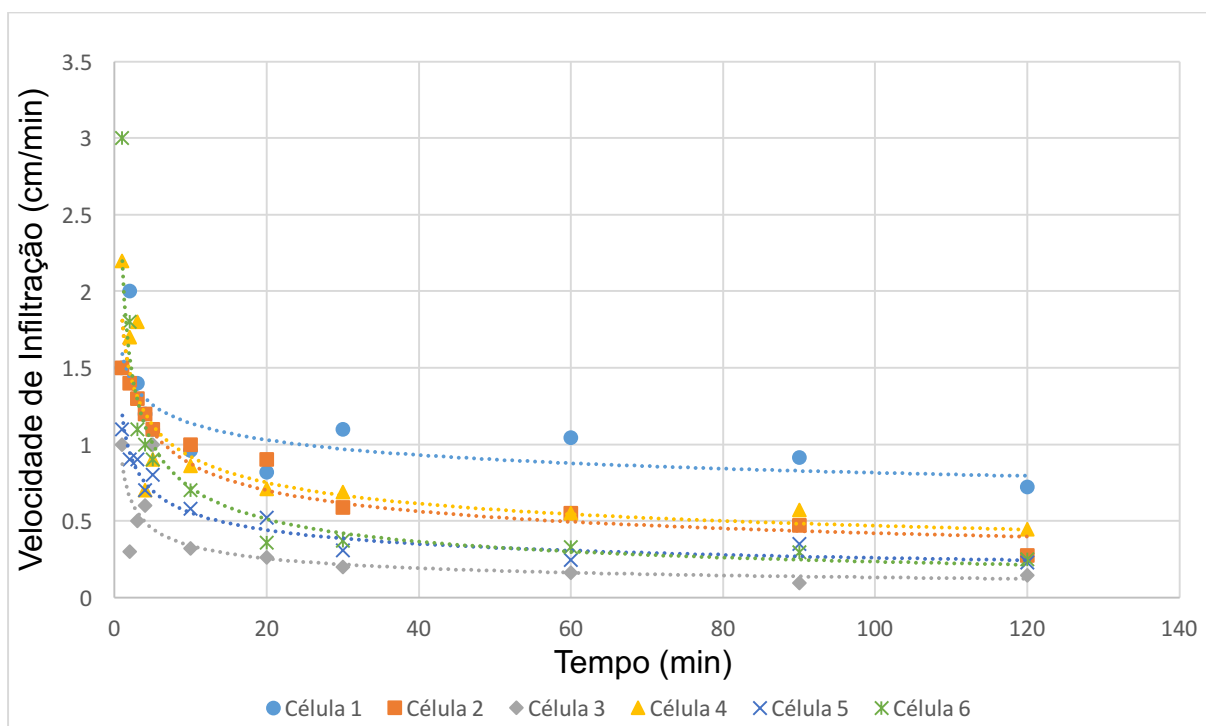
A velocidade de infiltração (VI) pôde então ser obtida pela derivada da Infiltração em relação ao tempo (Equação V), e a velocidade de infiltração básica (VIB), também chamada de condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) das células ensaiadas também pôde ser obtida através da expressão (Nunes *et al.*, 2012):

$$VI = a.n.t^{n-1} \quad (V)$$

$$K_{sat} = VIB(cm/min) = a.n. \left(-\frac{0,01}{60.a.n.(n-1)} \right)^{\frac{n-1}{n-2}} \quad (VI)$$

Utilizando a expressão da velocidade de infiltração apresentada anteriormente, traçou-se o gráfico entre a velocidade de infiltração (cm/min) e o tempo (min), para todas as 6 células estudadas, conforme representado na figura 16.

Figura 16 - Curvas velocidade de infiltração para todas as células.



Fonte: Autor.

Da mesma forma, utilizando a expressão VI, calculou-se a condutividade hidráulica (K_{sat}) para todas as células ensaiadas, assim como a média aritmética representativa para o campo experimental em questão, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - K_{sat} do solo das células.

CÉLULA	K_{sat} (cm/min)	K_{sat} (m/s)
C1	0,657	$1,09 \cdot 10^{-4}$
C2	0,363	$6,04 \cdot 10^{-5}$
C3	0,104	$1,74 \cdot 10^{-5}$
C4	0,280	$4,66 \cdot 10^{-5}$
C5	0,199	$3,31 \cdot 10^{-5}$
C6	0,121	$2,01 \cdot 10^{-5}$
MÉDIA	0,287	$4,79 \cdot 10^{-5}$

Fonte: Autor.

Percebe-se, pelas Figuras anteriores (Figuras 15 e 16), que há uma leve disparidade nos resultados de infiltração acumulada e velocidade de infiltração entre

as células estudadas, o que pode ter ocorrido pela heterogeneidade do terreno em questão e devido ao método de ensaio adotado possuir características empíricas, podendo apresentar variações de acordo com a execução. Entretanto, observa-se curvas e tendências bastante semelhantes, características de solos arenosos, com alta velocidade e taxa de infiltração iniciais, devido ao comportamento drenante do solo em questão, mantendo um aumento desacelerado da infiltração acumulada e uma redução gradativa da velocidade com o tempo e, conseqüentemente, à medida que a profundidade aumenta, até uma tendência de estabilização próxima à saturação do solo ou ao nível da água.

Observa-se, ainda, pelas curvas de velocidade de infiltração (Figura 16), que há uma certa estabilização da velocidade quando esta atinge valores por volta de 0,3 cm/min, o que pode ser interpretado e confirmado como velocidade de infiltração básica (VIB) ou condutividade hidráulica, a qual apresentou um valor médio calculado de 0,287 cm/min ou $4,79 \cdot 10^{-5}$ m/s. Assim, o solo em questão pode ser classificado, de acordo com BERNARDO *et al.* (2006), como solo de VIB muito alta (conforme Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação do solo pela VIB.

Tipos de solo	VIB (cm/h)
Solo de VIB muito alta	> 3,0
Solo de VIB alta	1,5 - 3,0
Solo de VIB média	0,5 - 1,5
Solo de VIB baixa	< 0,5

Fonte: BERNARDO *et al.*, (2006).

4.3. Discussões e interpretações.

Nota-se, no que se refere as densidades, uma variação das densidades em função da localização em planta no campo experimental. No entanto, a máxima diferença em relação à média é de 7%, considerando o solo superficial.

Referente a condutividade hidráulica, também se observou uma variação, a qual é maior que as observadas na densidade, com variações superiores a 100% (dobro) no caso da célula 1. Na célula 1 pode ter ocorrido um erro de leitura pois

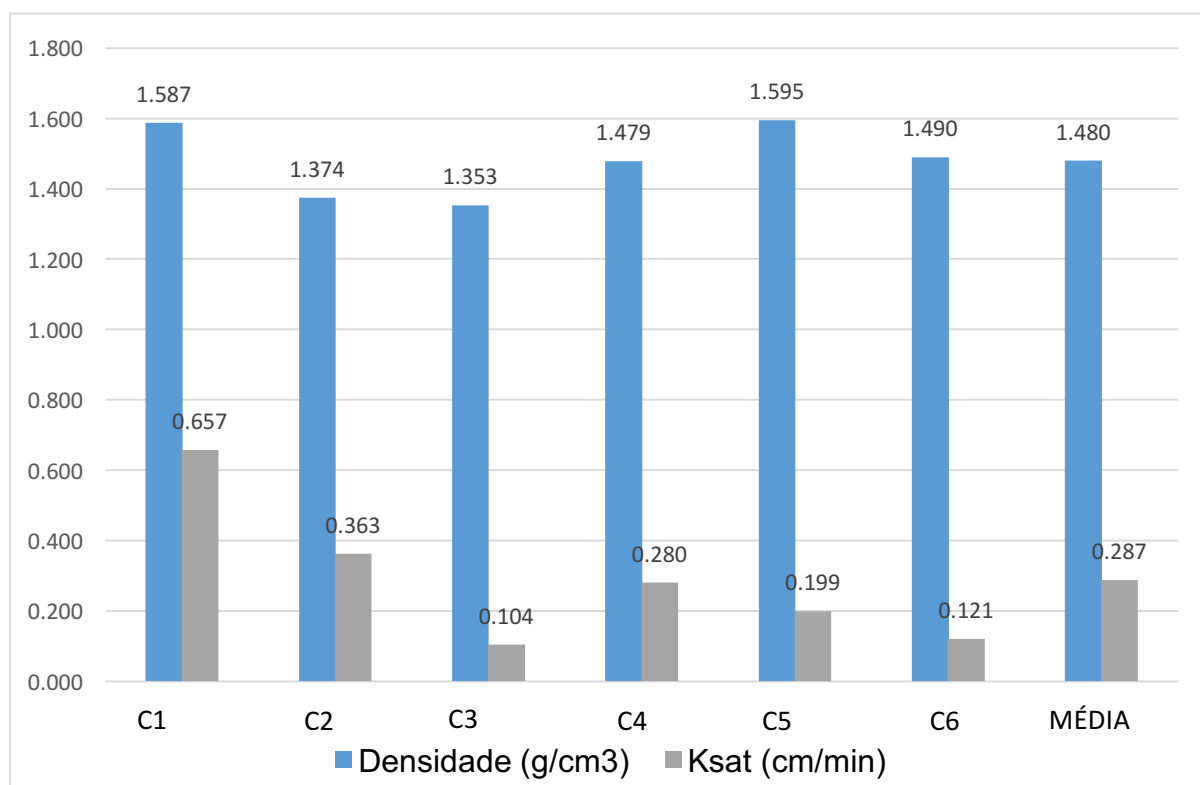
esperava-se que o K_{sat} fosse menor, uma vez que esta apresentou uma densidade menor. Neste caso é recomendável a realização de ensaios em duplicata

Percebe-se, a partir dos resultados apresentados, que há uma certa incoerência nos valores obtidos para a célula 1. Percebe-se, ao compararmos a densidade e a condutividade hidráulica de acordo com a Figura 16, que a célula 1 apresenta o segundo maior valor de densidade seca (1,587 g/cm³) e o maior valor de condutividade hidráulica (0.657 cm/min), o que vai de encontro com a fundamentação teórica, onde o esperado é que o solo que apresenta uma maior densidade, apresentasse uma velocidade de infiltração menor e consequentemente, uma menor condutividade hidráulica. Isso pode ter acontecido por dois principais motivos: Falhas nas leituras ou erros na realização do ensaio de infiltração, onde podem ter sido averiguados valores de infiltração acima do condizente, interferindo, assim, no valor final da condutividade hidráulica encontrado, sendo necessário duplicatas para a confirmação dos resultados obtidos. 2) O solo, no local escolhido para o ensaio, apresentar perfil subterrâneo mais estratificado, com a presença de camadas com densidades diferentes, interferindo, assim, na velocidade de infiltração da água no decorrer das camadas, neste caso específico, haveria uma diminuição da densidade com o aumento da profundidade.

As células apresentaram valores de densidade na faixa entre 1,35 a 1,6 g/cm³, com uma média de 1,48 g/cm³. Já os valores de K_{sat} , com exceção da célula 1, se encontram na ordem de grandeza de 10^{-5} m/s, com uma média de $4,79 \cdot 10^{-5}$ m/s.

De acordo com Blight e Leong (2012), as diferenças na condutividade hidráulica e densidade que podem ocorrer em diferentes pontos de uma área para os solos residuais jovens não estão relacionadas à classificação pedológica das camadas sobrejacentes, mas sim ao grau de intemperismo e características da rocha de origem.

Figura 17 - Comparação entre densidade seca e condutividade hidráulica.



Fonte: Autor.

Além dos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados, pode-se inter-relacionar estes com alguns outros resultados encontrados a partir de ensaios especiais realizados no mesmo campo experimental em questão (CEGEF-UFC), a fim de se obter comparações eficientes para findar em uma caracterização mais completa e tomadas de decisões mais assertivas. Tem-se, portanto, que a estratificação do solo é composta por areia fina siltosa, na parte mais superficial (até 1,40 m), e silte arenoso nas camadas mais profundas, segundo os resultados das sondagens a percussão (SPT) até a profundidade de 8,45 m do trabalho realizado por Ramos (2018) no CEGEF-UFC, o que confirma o comportamento drenante mais intenso na camada superficial do solo, apresentando uma velocidade de infiltração mais elevada no início e uma redução gradual com a profundidade.

5. CONCLUSÕES.

Este trabalho apresenta resultados de ensaios geotécnicos realizados no Campo Experimental de Geotecnia e Fundações da Universidade Federal do Ceará (CEGEF-UFC). Foram realizados ensaios de campo e de laboratório para a subsidiar a análise do solo em questão e o caracterizar hidraulicamente. Através do resultado do ensaio de granulometria foi possível identificar parâmetros físicos do solo, como a dimensão e distribuição dos grãos do solo, o qual apresentou características de solo granular, mal graduado, com cerca de 21% de material fino, sendo classificado como do tipo areia siltosa (SM), segundo a classificação do Sistema Único de Classificação de Solos (SUCS).

Os resultados dos ensaios de massa específica aparente seca reafirmam os resultados encontrados na granulometria, apresentando valores na ordem de $1,48 \text{ g/cm}^3$, se situando dentro dos limites de solos arenosos.

A partir dos ensaios de infiltração (anéis concêntricos), foi calculado, para todas as células subdivididas do CEGEF-UFC, a taxa de infiltração da água no solo (cm) e a velocidade de infiltração (VI, cm/min) em função do tempo decorrido, assim como o coeficiente de condutividade hidráulica (K_{sat}), ou velocidade de infiltração básica (VIB), obtendo-se um valor médio de 0,287 cm/min, classificado como muito elevado.

Comparando os resultados obtidos, pode-se caracterizar o campo experimental em questão com solo granular arenoso, de elevada condutividade hidráulica e bastante modificado, por apresentar disparidades de resultados ao longo de sua extensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3385-09**: Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring infiltrometer. Pensilvânia, 2009.

ANTUNES SIDRIM GOMES LEITE MANSUR, Caroline. **Comportamento dos aterros que compõem a obra do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro**. 2012. 158 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185**: Solo – Determinação da massa específica aparente in situ, com o emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6454**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005.

BLIGHT, G.E.; LEONG, E.C. **Mechanics of residual soils**. 2ª Ed. Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema. 2012.

CAVALCANTE, E.H., DANZINGER, F.A.B., GIACHETI, H.L., COUTINHO, R. Q., SOUZA, A., KORMANN, A. C. M., BELICANTA, A., PINTO, C. S., BRANCO, C. J. M.C., FERREIRA, C. V., CARVALHO, D., MARINHO, F. A. M., CINTRA, J. C. A., DOURADO, K. C. A., MORAES, L. S., FILHO, L. H. A., ALMEIDA, M. S. S., GUTIERREZ, N. H. M., ALBUQUERQUE, P. J. R., CHAMECKI, P. R., CUNHA, R. P., TEIXEIRA, R. S., MENEZES, S. M., LACERDA, W. A. **Campos Experimentais Brasileiros**. Geotecnia. nº 111, novembro, p.99-205, 2007.

COSTA, S. N., MARTINEZ, M. A., MATOS, A. T. e RAMOS, V. B. (1999). "Mobilidade de nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 3(2), 190-194.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E. SANTOS JUNIOR, R. B. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), v.22, n.1, p.199-205, janeiro/março de 2009.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 369- 378, 2012.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 323 p. (IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 04).

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e**

métodos. Viçosa: UFV, 2006.

NOBRE, M. M. M. **Estudo experimental do transporte de poluentes em solos argilosos compactados.** 1978. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, PUC-RIO, Rio de Janeiro, RJ.

NUNES, J.A. S., SILVEIRA, M. H.D., SILVA, T. J.A., NUNES, P. C. M., CARVALHO, K.S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em LATOSSOLO VERMELHO de cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p. 1685, 2012.