



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76

Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2020

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO SOLO DO CIS UTILIZANDO ÓLEO DIESEL COM FLUIDO PERCOLANTE.

Maíke Matias Dias¹; Riseuda Pereira de Sousa² e Jecilane Pereira de Araujo³

1. Bolsista PROBIC, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:
maikematias@hotmail.com.br
2. Orientadora, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail::
riseuda.sousa@gmail.com.br
3. Técnico participante do projeto, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:
jecilany.m@gmail.com.br

PALAVRAS-CHAVE: caracterização hidráulica, diesel; ascensão capilar; curva de retenção.

INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por resíduos oriundos de passivos ambientais é uma realidade em muitos espaços urbanos onde o solo é exposto a derivados de petróleo, rejeitos de indústrias químicas e de esgotos domésticos criando inúmeros problemas aos ecossistemas de forma local e geral. O fluxo destes produtos na superfície do solo pode resultar numa migração para o lençol freático, ocasionando a contaminação dos aquíferos e, conseqüentemente, danificando as fontes de água potável.

Diante da necessidade de preservação dos recursos hídricos, grupos da Área de Geotecnia Ambiental/Mecânica dos Solos Não Saturados vêm realizando estudos de ação mitigadora, como o intuito de evitar que estes contaminantes, uma vez disposto no meio ambiente, atinjam o lençol freático. A realização deste tipo de estudo requer conhecimento não só das características físicas e químicas do solo e do fluido, mas também das características hidráulica do meio percolante, que têm papel relevante nas atividades do meio. Uma destas propriedades é o fenômeno da capilaridade, que é responsável pela habilidade de um fluido ascender num meio poroso. Outra é a capacidade do meio poroso tem de reter o fluido percolante. Diante da relevância dos estudos de fluxo em meios porosos de ambientes impactados por diferentes contaminantes, e a necessidade do pleno conhecimento da capacidade do meio, neste trabalho, que corresponde a uma etapa do estudo de contaminação do solo do Centro Industrial de Subaé (CIA), está sendo realizada a caracterização hidráulica do solo tendo o diesel como fluido percolante.

MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização física do material, composta de: peso específico dos grãos, granulometria conjunta, compactação, limite de liquidez e limite de plasticidade, foram realizadas no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), seguindo as normas da ABNT - NBR 6457 (1986), 6459 (1984), 6508 (1984), 7180 (1984), 7181 (1984), 7182 (1986), 14545 (2000). Por seu turno, o teor de matéria orgânica foi realizado pelo Método de Perda ao Rubro no Laboratório de Saneamento da UEFS.

A análise da capacidade de troca catiônica (CTC), que envolve a determinação de cátions trocáveis, saturação por bases e por alumínio, acidez titulável, se concentrou na fundamentação teórica, de livros, artigos, dissertações e tese, as quais vão possibilitar as futuras análises dos dados experimentais.

A determinação da tensão superficial e interfacial do óleo diesel, realizada pelo Método de Du Nouy (método do anel), focou na fundamentação teórica a ser utilizada nas futuras análises dos dados experimentais.

A determinação do caráter reológico do diesel (viscosidade cinemática e dinâmica), foi realizada utilizando o viscosímetro de Cannon Fenske.

A massa específica do diesel foi determinada por gravimetria utilizando balança analítica e seringas descartáveis, preenchidas com 1ml do diesel.

As medições do pH do diesel foram realizadas pHmetro do Laboratório de Saneamento.

A montagem do sistema destinado a realização dos ensaios de ascensão capilar envolveu a seleção e cortes das garrafas, que foram unidas através de colagens e amarrações com arames, conforme técnica de Sousa, 2012. Na linha de alimentação das colunas foi feita a individualização, com a instalações de válvulas na entrada de cada coluna, a fim de permitir reparos emergenciais durante os ensaios,

A compactação do solo nas colunas PET, destinadas ao estudo de percolado do óleo diesel, foi realizado com um compactador de aço, empregando o método estático apresentado nas metodologias de Oliveira (1995) e Sousa (2012).



Figura1. Da esquerda para a direita: compactação da coluna; coluna de teste; compactador

Diante da impossibilidade de realização dos ensaios de ascensão capilar, a modelagem física das curvas de ascensão capilar, focou um levantamento aprofundado, na literatura pertinente, dos modelos físicos propostos para simular ascensão capilar.

Mesmo tratamento foi dado a obtenção da curva de retenção, cujo estudo se concentrou na abordagem teórica das metodologias empregadas na modelagem das curvas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterizas físicas do solo

- O solo Centro Industrial do Subaé é constituído de 43,5% argila, 4,5% de siltes, 17% areia fina, 21,5% areia média, 9,9% areia grossa e 3,6 % pedregulho. Apresenta limite de liquidez (LL) de 37%, limite de plasticidade (LP) de 16% e índice de plasticidade (IP) de 21%.
- Nas condições de campo, o solo apresenta uma massa específica de $1,77\text{g/cm}^3$ ($17,7\text{kN/m}^3$) e possui uma massa específica real dos grãos de $2,65\text{g/cm}^3$ ($26,6\text{kN/m}^3$). Porém, nas condições de umidade ótima, no teor de 11,95%, a massa específica do solo atinge o valor máximo de $1,89\text{g/cm}^3$.
- Apresenta um teor de 5,77% de matéria orgânica (MO) que evidencia a sua necessidade na determinação da umidade do solo após realização dos ensaios de percolação com diesel, já que neste procedimento o solo é submetido a calcinação, que também destrói a matéria orgânica.
- Diante da existência de 43,5% de argila no solo é preciso realizar os ensaios referente a capacidade de troca catiônica, para possibilitar o entendimento do comportamento do fluxo e retenção de umidade do diesel no interior do solo.

Caracterização do diesel BS 500

Foi constatado que:

- O diesel BS 500, a 20°C , apresenta a viscosidade cinemática de $4,4 \times 10^{-2} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, valor condizente com os da literatura, haja vista que, para o diesel BS 10, que possui menor teor de enxofre, as viscosidade cinemática obtidas, à 20°C , por Oliveira, 2002 e Sousa 2012, foram 4,54 e $4,50 \text{ gcm}^{-3}$, respectivamente.
- O pH o diesel BS 500 é de 6,3, indicando uma baixíssima acidez do fluido.
- A 20°C o diesel BS500 apresenta os valores de $0,89 \text{ gcm}^{-3}$ para a massa específica (ρ) e $872,73 \text{ dina.cm}^{-3}$ para o peso específico (γ). Resultados, que estão condizentes com os da literatura, haja vista que, para o diesel BS 10, fluido com menor teor de enxofre, os valores encontrados, por Oliveira, 2002 e Sousa 2012 para a massa específica, a 20°C , foram de 0,8 e $0,8323 \text{ gcm}^{-3}$, respectivamente.
- A tensão superficial do diesel ($26.9 \text{ dyna.cm}^{-1}$) e de outros derivados do petróleo ao ser comparada com a da água ($71.97 \text{ dyna.cm}^{-1}$) demonstra que, a tensão superficial dos derivados de petróleo corresponde a cerca de um terço do valor da tensão superficial da água.
- Para o diesel, fluido constituído de uma mistura de produtos químicos de características diversificadas, não é aplicável o critério de que a tensão interfacial do

diesel é igual à diferença das tensões superficiais do diesel e da água. Conforme proposto por Antonoff (1907).

Caracterização hidráulica do solo

Com a realização da compactação e a decretação de suspensão das atividades presenciais foi possível finalizar uma coluna de solo, com cerca de 2m de altura, e atingir cerca de 70 % da altura final de outras duas, que aguardam o retorno as atividades para conclusão e realização dos ensaios de ascensão capilar.

- **Ascensão capilar**

Com a realização dos estudos efetuados, com base na literatura, constatou-se a existência de vários modelos físicos e matemáticos que podem ser empregados na modelagem da ascensão capilar do diesel. (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Modelos para a ascensão capilar

Tabela 2. Modelos para infiltração vertical

<p>Modelo Washburn (1921)</p> $h = \sqrt{\frac{r\sigma\cos\theta}{2\mu}t} \quad \text{Solução assintótica para } t \rightarrow 0 \quad (1)$	<p>Green & Ampt (1911)</p> $I(t) = K_{sat} + a \ln\left(1 + \frac{I(t)}{a}\right),$ $a = (\theta_1 - \theta_0)(h_p - h_f) \quad (4)$
<p>Modelo Lucas-Washburn (Zhmud et al (2000))</p> $h = h_c \left[1 - \exp\left(\frac{-\rho g r^2}{8\mu h_c} t\right)\right] \quad \text{Solução assintótica para } t \rightarrow \infty \quad (2)$	<p>Kostiakov (1932)</p> $I(t) = at^b, \text{ sendo a e b constantes de ajuste} \quad (5)$
<p>Modelo de Terzaghi (1943)</p> $t = \frac{n h_c}{k_{sat}} \left(\ln \frac{h_c}{h_c - h} - \frac{h}{h_c}\right) \quad (3)$	<p>Philip (1969)</p> $I(t) = A_1 t^{\frac{1}{2}} + A_2 t + A_3 t^{\frac{3}{2}} + A_4 t^2 \quad (6)$ <p>Para dois termos:</p> $I(t) = A_1 t^{\frac{1}{2}} + A_2 t \quad (7)$ <p>Válida para tempos moderados</p>

São opções para a modelagem o modelo de Washburn (1921), postulado para fluxo laminar e estacionário e válido para tempos curtos, na ausência de deslizamento na interface sólido/líquido; o modelo de Lucas-Washburn, postulado em Zhmud et al, 2000, e válido para tempos longos; além do modelo físico de Terzaghi (1943). Outros modelos como os de Lu e Likos (2004), Jitrapinate et al. (2006) e o de Aghajani *et al* (2011), que não foram apresentados na Tabela1 mas que regem o fenômeno da ascensão capilar, também estão previstos para serem empregados na modelagem do Diesel.

Os modelos matemáticos de Green & Ampt (1911), Kostiakov (1932) e Philip (1969) (Tabela 3), deduzidos para a infiltração vertical, também servem para modelar o fluxo ascendente no solo. O modelo de Green & Ampt se adequa melhor a fluxo saturado tipo pistão, que ocorre em meios porosos arenosos; já o de Phillip, apresenta melhor ajuste para fluxo difuso, que ocorre em meios porosos argilosos. Por outro lado, o modelo de Kostiakov (1932) tem bom ajuste em solos areno

argilosos e foi o que melhor se ajustou aos dados de ascensão capilar de água no solo do CIS.

- **Curva de retenção de umidade do óleo diesel**

A Tabela 3 apresenta os modelos de maior relevância no mundo científico para modelagem de curva de retenção de umidade. De acordo com a literatura, o modelo proposto por van Genuchten (1980), mesmo sem considerar a condição de solo completamente seco, é comumente, empregado para representar a curva de retenção de água no solo. , este modelo funcionou perfeitamente na modelagem da curva de retenção do Diesel em areia de duna de Sousa 2012. Todavia, na modelagem da curva de retenção de água no solo do CIS, de formato bimodal, foi modelada com o modelo duplo van Genuchten, de Carducci et al (2011).

O modelo de Fredlund & Xing (1994), que pode ser usado em valores de sucção normalmente encontrados no campo, é outra opção. No caso de problemas envolvendo profundidades rasas em climas secos e quentes e / ou valores de conteúdo de água muito baixos, o uso deste modelo mostra-se mais atraente.

Diante do exposto, para modelagem da curva de retenção do diesel, diante da consolidação destes modelos no meio científico, a princípio faremos a aplicação deles, visando identificar qual melhor se adequa. Na constatação de que nenhum é viável, serão feitas novas buscas.

Tabela 3, Modelos para curva de retenção de umidade

van Genuchten (1980)	$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + \alpha\psi ^n]^m} \quad (8)$
Duplo van Genuchten por Carducci et al (2011)	$w = w_{res} + \frac{w_{pmp} - w_{res}}{\left(1 + (\alpha_{tex} \times \psi_m)^{ntex}\right)^{ntex}} + \frac{w_{sat} - w_{pmp}}{\left(1 + (\alpha_{est} \times \psi_{est})^{ntest}\right)^{ntest}} \quad (9)$
Fredlund & Xing (1994),	$\theta(\psi) = C(\psi) \frac{\theta_s}{\left[\ln\left[e + \left(\frac{\psi}{\alpha}\right)^n\right]\right]^m} \quad (10)$ Onde: $C(\psi) = 1 - \frac{\ln\left(\frac{\psi}{\psi_r}\right)}{\ln\left(\frac{10^6}{\psi_r}\right)}$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização dos ensaios constatou-se que o solo Centro Industrial do Subaé, uma areia argilosa com o teor de matéria orgânica 5,77%, nas condições de campo apresenta massa específica de 1,77g/cm³ e massa específica real dos grãos de 2,65g/cm³ (26,6kN/m³). E nas condições de umidade ótima, de 11,95%, a massa específica atinge o valor máximo de 1,89g/cm³.

Já o fluido percolante, o óleo diesel BS 500 a 20°C, apresenta a viscosidade cinemática de 4,4x10⁻² cm²s⁻¹, massa específica (ρ) de 0,89 gcm⁻³, o peso específico (γ) de 872,73 dina.cm⁻³ e pH de 6,3, enquanto tensão superficial, de acordo com a literatura é 26.9 dyna.cm⁻¹.

Para a modelagem matemática das curvas de ascensão capilar ficou estabelecido o uso dos seguintes modelos: de Washburn (1921), desenvolvido para fluxo laminar em estado estacionário e tempos curtos; de Lucas-Washburn, deduzido para fluxo em tempos longos, por Zhmud et al (2000), além do modelo físico de Terzaghi (1943), de Lu e Likos (2004), de Jitrapinate et al. (2006) e de Aghajani *et al* (2011). Diante do

fato dos modelos deduzidos para a infiltração vertical também servirem para modelar fluxo ascendente, os modelos matemáticos, físicos e ou teóricos de: Green & Ampt (1911), Philip (1969) e Kostiakov (1932) serão utilizados para modelar a curva de ascensão capilar do óleo diesel.

Para modelagem da curva de retenção do diesel, diante da consolidação no meio científico dos modelos de: van Genuchten (1980), duplo van Genuchten (1980) (Carducci et al, 2011) e Fredlund & Xing (1994), ficou estabelecido o uso deste modelos para identificar qual melhor se adequa aos dados de curva de retenção deste trabalho. Na constatação de que nenhum é viável, sejam feitas novas buscas.

REFERÊNCIAS

ABNT: NBR 6457 (1986). Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT: NBR 6459 (1984). Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT: NBR 6508 (1984). Grãos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT: NBR 7180 (1984). Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT: NBR 7181 (1984). Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT: NBR 7182 (1986). Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, Brasil.

CARDOSO, L. S. P. (2011). Estudo do transporte de poluentes imiscíveis em solos.

Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C. & ZEVIANI, W.M. (2011). Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. R. Bras. Ciênc. Solo, v. 35, p. 77-86.

FREDLUND, V. G.; XING, A.; HUANG, S. (1994). Predicting permeability function for unsaturated soil using soil water characteristic curve. Can. Geotech. J, v. 31, n. 3, p. 533-546.

GREEN, W. H.; & Ampt, G. A. (1911) Studies on soil physics, 1. The theory of air and water through soils. J. Agr. Sci. v. 4, 1-24,).

KOSTIAKOV, A. N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. In Transactions, 6th committee Inter. Soc Soil. Sci. Moscow. Part A 17-21.

OLIVEIRA, J. C. S. (2001). Contaminação dos solos argilosos por líquidos orgânicos: problema de avaliação da permeabilidade. 205f. Tese (Doutorado em Geologia).

Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

PHILIP, J. R. (1969). Theory of infiltration. In: Advances in Hydroscience. Elsevier.V.5, p. 215-296

SOUSA, R. P (2012). Estudos dos fluxos de óleo diesel e água em solos não saturados: desenvolvimento experimental e modelagem matemática. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial), Universidade Federal da Bahia, Salvador.

TERZAGHI, K. (1943). Theoretical soil mechanics, Wiley, New York,

VAN GENUCHTEN, M. TH. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., n. 44, p. 892-898.

WASHBURN E. W., (1921). The dynamics of capillary flow, Phys. Rev., 17 273 – 283.

ZHMUD, B. V.; TIBERG, F.; HALLSTENSSON, K. (2000). Dynamics of Capillary Rise. Journal of Colloid and Interface Science, v. 228, n. 2, p. 263–269.