



**CENTRO  
UNIVERSITÁRIO**



## **ANÁLISE DE CURVA DE SUÇÃO DO SOLO SUPERFICIAL DE CASCAVEL/PR PELO MÉTODO DO PAPEL FILTRO**

ANA CAROLINA SECCO GRAPEGIA<sup>1</sup>; MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, [algrapegia@hotmail.com](mailto:algrapegia@hotmail.com);

<sup>2</sup> Mestre Engenheiro Professor, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, [mayconalmeida@crea.org.br](mailto:mayconalmeida@crea.org.br).

**RESUMO:** Esse trabalho tinha o desígnio de estimar e validar a curva de sucção do solo superficial de Cascavel, região oeste do Paraná, pré determinadas por outros autores, propriedade dos solos não saturados que representa a força que o mesmo impõem para segurar a água em seus poros, obtendo-a pelo método do papel filtro, um método com baixo custo, rápido e diferente dos outros métodos existentes hoje, porém ainda eficiente. Para realizar o trabalho foram coletadas 8 amostras indeformadas de metro em metro através de um poço de inspeção no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF) até a profundidade de 5 metros. Foram realizadas variações nas umidades das moastras e deixadas em repouso por 7 dias em contato com o papel filtro Whatman nº 42 para que fosse atingido o equilíbrio do sistema. Obteve-se a curva de sucção do solo relacionando a umidade volumétrica e seus referentes valores de sucção. Concluiu-se que o método do papel filtro é funcional, que os resultados obtidos foram validados e que os coeficientes de ajuste para a curva que mais se adequaram a esse solo foram  $a = 1000$  e  $m, n = 0,5$  na equação de Fredlund and Xing (1994) e com  $a = 100$  e  $m, n = 1$  na equação de Burdine (1953).

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo Não Saturado, Curva de Sucção, Método do Papel Filtro.

## **OBTENTION OF THE SUCTION CURVE OF CASCAVEL - PR SUPERFICIAL BY THE FILTER PAPER METHOD**

**ABSTRACT:** This study intended to stimate and valid the suuperficial soil suction curve of Cascavel, western region of Paraná, pre determinated by other autors, the property of the unsaturated soils that represents a force that the same imposes to hold the water in its pores, obtaining it by the method of the filter, a low cost method, fast and different from the other existing methods today, but still being efficient. The data was collected through laboratory tests of the filter paper method and was analyzed based on bibliographical research and tests already performed. Tables, photographic images, equations and research reports was used to base the results, as well as for later analysis and better interpretation of the data. The analysis of data ocured from spreadsheets, according to laboratory tests of 40 soil samples performing the Whatman # 42 filter paper method for different moisture contents. The unit contents of the samples will be obtained, relating them to a calibration curve and its relative suction values. Terminates that the method of filter paper is functional, the results obtained by the researcher were valid and that is important to study the factors that fits better in each soil.

**KEYWORDS:** Not Saturated Soil, Suction Curve, Filter Paper Method.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Bonder (2008), a mecânica dos solos, utilizada atualmente, se baseia no estudo de solos saturados, porém a mecânica dos solos não saturados possui uma variável de tensão de extrema relevância para que seja possível entender como se comporta esses solos quando recebem tensões, quando são comprimidos e como funciona sua permeabilidade. Tal variável de tensão é a sucção.

Os poucos estudos feitos para avaliar a sucção de um solo são executados pelo método da câmara de pressão de Richards, porém, por se tratar de um procedimento caro e lento, buscam-se métodos alternativos, tal como o do papel-filtro, como concluiu Lucas *et al.* (2011).

Em vista disso, esse trabalho tem como objetivo validar a curva de sucção do solo de Cascavel – PR utilizando diversas profundidades, de modo a ser possível obter a curva de sucção do solo dos primeiros metros, verificando a aplicabilidade de curvas de sucção de diferentes autores para o solo de Cascavel.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Solos Não Saturados

A ABNT NBR 6502/1995 define solo como o material que vem da decomposição de rochas pela ação de agentes químicos ou físicos, sendo possível ter matéria orgânica.

Somente a separação entre o saturado e não saturado já diz um pouco sobre a importância da água nos solos. Há diferentes formas de retratar a presença da mesma, no ponto de vista da engenharia civil normalmente é pela quantificação, seja pelos teores de umidade, grau de saturação ou pelo estado de energia da água. A água tem uma determinada porção de energia, e pela física, é dividida entre cinética, consequente da velocidade que a água se movimenta e a potencial, resultado da posição e das interações entre a água e outros componentes do solo. O transporte de massa em solos deve-se muito pelo fluxo de água ou substâncias em seus poros (MACHADO e VILAR, 2005).

Faz-se importante o estudo do comportamento do solo quando ele se encontra na situação não saturado por apresentar propriedades e comportamentos diferentes dos quais ele apresenta quando se encontra saturado. Um dos exemplos práticos é a diminuição da umidade,

que diferentemente de quando o solo se encontra saturado, a água não se apresenta de forma livre, mas em capilares do solo e absorvida pela sua matriz, tendo assim a importância do potencial matricial (TORRES, 2013).

A umidade de um solo é muito variável em relação ao tempo, sendo que seus extremos são quando o solo está seco (a 105 °C), em que a umidade é considerada 0 e quando ele está saturado (100% de umidade, portanto, todos os seus poros estão ocupados com água) (LACERDA, 2007).

Segundo Lacerda (2007), quando o solo se encontra saturado, o excesso de água é escoado até que ele se encontre em equilíbrio, que é atingido pelo potencial gravitacional (força a água a descer) e se iguala ao potencial mátrico (esforço que o solo faz para reter a água). Tal capacidade é maior em solos argilosos por eles terem mais matéria orgânica na sua composição do que os solos arenosos e siltosos. Já segundo Machado e Vilar (2005), para que haja a movimentação do fluxo, em qualquer meio, precisa-se que tenha diferenças de energia interna ou intrínseca entre as moléculas de diferentes regiões, no caso dos solos, é seu meio poroso. Tendo diferença de energia cinética ou potencial, o fluido irá migrar das regiões de maior energia para as com menor energia.

Genericamente, conforme Machado e Vilar (2005), a energia interna de um fluido está relacionada com o grau de agitação de suas moléculas, que tem efeitos manifestados na forma de energia térmica ou de pressão, potencial de energia do solo é chamada de energia livre, que é capaz de produzir trabalho. Efeitos que tendem a aumentar o grau de agitação ou diminuir o espaço livre para que a agitação das moléculas aconteça, aumentam a energia interna do fluido e seu inverso também é verdadeiro. A capacidade de campo representa o conteúdo ideal de água no solo, no qual se espera que os micro poros estejam cheios de água e os poros maiores cheios de ar. À medida que o solo vai secando, a água disponível decresce até atingir o limite inferior de umidade, no qual a reserva de água se esgotou (LACERDA, 2007).

Segundo Reichart & Timm (2012), apenas conhecendo os potenciais da água no solo, será possível determinar a tendência do seu movimento. Segundo Blažka & Fischer (2014), o potencial capilar pode ser definido como a energia necessária para deslocar uma unidade de massa de água, no sentido contrário das forças capilares, de um local do solo até o nível de água livre, estando sujeita à pressão atmosférica.

Segundo Silva (2005), o potencial total da água no solo é a medida do seu estado de energia e a soma de vários componentes, tais como o potencial matricial, osmótico, pressão e gravitacional, como pode ser visto na Equação 1.

$$\psi = \psi_p + \psi_g + \psi_o + \psi_m \quad (1)$$

Na qual:

$\Psi$  = potencial total;

$\Psi_p$  = potencial de pressão;

$\Psi_g$  = potencial gravitacional;

$\Psi_o$  = potencial osmótico<sup>1</sup>;

$\Psi_m$  = potencial mátrico<sup>2</sup>.

## 2.2. Sucção em solos

Segundo Marinho (2001), a sucção total pode ser explicada de duas formas complementares: como a pressão empregada nos poros de água de um solo não saturado para absorver mais água ou como a energia necessária para remover as moléculas de água dos poros do solo, ou ainda, a quantidade de energia que o solo precisa para reter a água em seus poros. Tal energia aplicada por unidade de volume de água no solo é o que se define por sucção.

A sucção total é resultado da soma da sucção matricial, referente a sucção da capilaridade e adsorção do solo, e a osmótica, que se refere aos sais existentes no solo.

Menezes (2013) cita que a sucção do solo pode ser dividida em duas partes, sendo elas a sucção matricial e a sucção osmótica. Sua equação é definida pela Equação 2.

$$S_t = S_m + S_{osm} \quad (2)$$

Na qual:

$S_t$  = sucção total;

$S_m$  = sucção matricial;

$S_{osm}$  = sucção osmótica.

Segundo Houston *et al* (1994), quando não há sais no solo, a sucção osmótica dele será nula e a sucção matricial será igual a sucção total e quando o solo não tem nenhum tipo de contaminação é possível definir apenas a sucção matricial.

O aumento da sucção acontece quando há o decréscimo na espessura da camada de água que cobre as partículas do solo. O aumento dela significa o decréscimo na umidade do solo e a quantidade de água que resta no solo é uma relação entre o tamanho e o volume dos poros ocupados com água (TORRES, 2013).

<sup>1</sup> Potencial referente aos sais presentes no solo.

<sup>2</sup> Potencial relativo à pressão de capilaridade e adsorção do solo.

### 2.4.1. Sucção mátrica

Também chamada de sucção matricial, é definida por Marinho (1994) como a diferença de pressão entre uma membrana que separa o sistema solo-água em uma solução como a água, porém sem o solo e também definida por Menezes (2013) como a pressão que existe devido à água negativa no solo, a qual está assim pelas forças de capilaridade (gerada pelo potencial negativo existente no solo) e adsorção (moléculas ou átomos aderidas à uma superfície adsorvente), estando essa pressão diretamente relacionada com a estrutura que o solo tem. É estabelecida pela diferença entre as pressões da água no solo e no ar em seus vazios (GERSCOVICH, 2001).

Conforme Campos *et al* (1992), tal tipo de sucção, ocorre devido ao efeito das forças de adsorção e de capilaridade, a qual gera uma pressão negativa na água e preenche os meniscos, interferindo no componente matricial quando o solo tem grãos finos, como em argilas. Podendo ser representada pela Equação 3.

$$S_m = S_c + S_{ad} \quad (3)$$

Na qual:

$S_m$ : sucção matricial;

$S_c$ : sucção devido à capilaridade;

$S_{ad}$ : sucção causada pela adsorção.

Caso os valores da sucção matricial ( $S_m$ ) excedam 1500 kPa, esta pode ser considerada equivalente ao valor da sucção total (FREDLUND E XING, 1994).

### 2.4.2. Sucção osmótica

É a sucção que existe devido à existência de sais dissolvido no soluto (MENEZES, 2013). Já segundo Ridley (1995) *apud* Vivian (2008) definem sucção osmótica como a tensão adicional necessária para remover uma molécula de água, causada pela presença de sais dissolvidos na água. Sua importância está mais associada aos solos expansivos. A sucção osmótica pode ser obtida numericamente pela Equação 15.

$$S_{osm} = n \cdot R \cdot T \cdot C \quad (15)$$

Na qual:

$S_{osm}$ : sucção osmótica;

n: número de moléculas por moles do sal;

R: constante universal dos gases;

T: temperatura absoluta (K);

C: concentração de solutos.

#### 2.4.3. Umidade volumétrica

A curva de sucção é obtida pela relação entre a sucção e a umidade volumétrica. Tal umidade é o produto da porosidade pela saturação do solo (PAIXÃO, 2005).

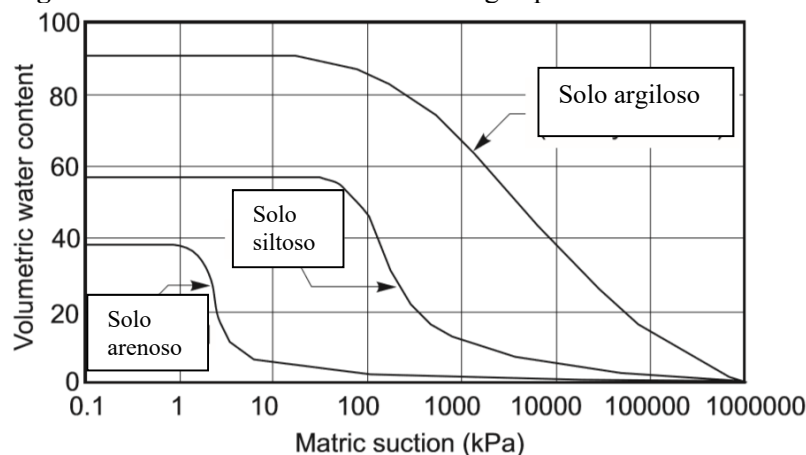
#### 2.5. Curva característica de sucção

Conforme Marinho (1994), em um solo, a curva característica de sucção representa a relação entre seu teor de umidade e a sucção, sendo a sucção matricial ou total. Soto (2004) diz que, a granulometria e mineralogia do solo têm uma estrita relação com a sucção e o teor de umidade do solo, sendo então fatores determinantes na forma, posição relativa e inclinação da curva. Há diversas formas de definir a curva característica de sucção, porém a mais utilizada é a que associa a sucção do solo com o volume de água contido nele (GERSCOVICH, 2001).

A curva característica de sucção de um solo é importante para obter propriedades relevantes que descrevem o comportamento do solo não saturado, como a resistência ao cisalhamento, o coeficiente de permeabilidade, o transporte de contaminantes na zona saturada e a variação do volume. Tais parâmetros de sucção, normalmente são obtidos a partir da sucção matricial (MONCADA, 2004). Cada solo tem uma curva de sucção característica, como pode ser visto na Figura 05.

Segundo Torres (2013), os solos que apresentam textura majoritariamente argilosa, costumam apresentar mais água em uma determinada sucção e a forma da curva característica mais gradual, isso se deve à distribuição mais uniforme de seus poros e pela maior parte da água estar adsorvida pelo solo. Já em solos mais arenosos, por ter poros de diâmetros maiores, são necessárias sucções menores e apenas uma pouca quantidade de água ainda fica.

**Figura 05:** Curvas características solo-água para solos distintos.



Fonte: editada de Fredlund e Xing, 1994.

Os solos arenosos, como é possível notar na Figura 05, apresentam perda brusca de umidade quando a sucção transcende um determinado valor. Já os solos argilosos têm a característica de sua curva mais suave quando a sucção ultrapassa um determinado valor (SOTO, 2004), como pode-se notar na Figura 06.

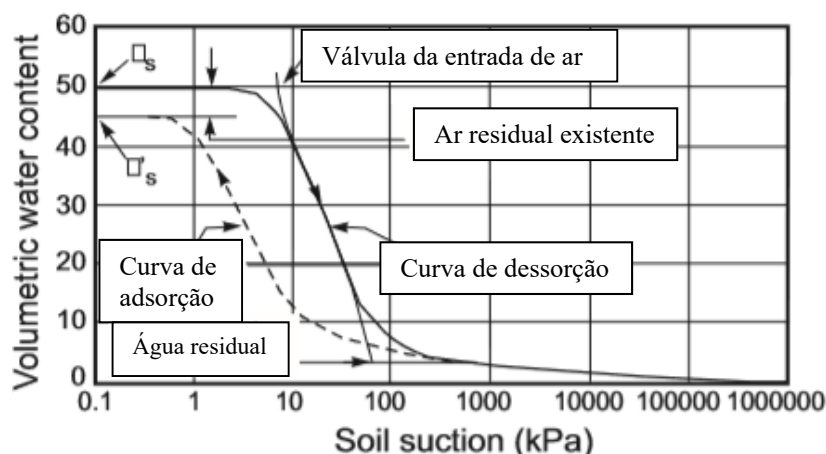
Na Figura 06 a curva de dessorção<sup>3</sup> e difere da curva de adsorção<sup>4</sup>, sendo tal diferença um resultado das histereses<sup>5</sup>. O ponto final na curva de adsorção pode diferir do ponto inicial da curva de dessorção, por conta do ar que fica enclausurado no solo. Todas as curvas têm um formato similar, entretanto o papel filtro considera primordialmente a curva de dessorção (FREDLUND E XING, 1994).

<sup>3</sup> Segundo Feitosa, Pereira e Silva (2014), sorção é o efeito de retenção dos íons e moléculas na sua fase sólida, portanto a dessorção é a liberação de um íon retido na fase sólida de um solo.

<sup>4</sup> Adsorção é o processo em que uma substância química reage a um limite comum de duas fases contíguas, caso tal reação resulte em enriquecimento da substância em sua camada interfacial, o processo é de adsorção positiva, caso não, o processo é de adsorção negativa. No caso de um solo, que as fases contíguas envolvem sólido (solo) e um fluido (água), a fase sólida é a adsorvente e o fluido que se acumula na sua superfície é a que adsorve (SPÓSITO, 2008).

<sup>5</sup> Vem do grego *hysteresis* que significa atraso, é genericamente quando há um atraso na evolução de um fenômeno físico em relação a outro. Já em solos, é quando o suprimento de duas vazões é diferente para uma mesma pressão (dos SANTOS *et al.*, 2015).

**Figura 06:** Características típicas de um solo saturado em um solo siltoso.

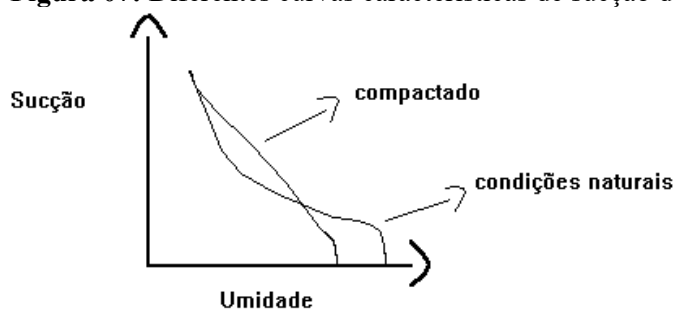


Fonte: editada de Fredlund e Xing, 1994.

A curva característica de sucção tem grande serventia para determinar os valores de potencial mátrico por dados de umidade e vice-versa, sendo que a sua curva é determinada uma vez apenas e sempre que precisar de novos valores de potencial mátrico, estabelece-se uma umidade do solo e obtém-se um potencial mátrico pela curva característica de sucção (TORRES, 2013).

Segundo Torres (2013), a estrutura do solo interfere diretamente na sucção que o solo apresentará, sendo que a compactação de um solo resulta na diminuição da porosidade total que ele vai apresentar e também no volume dos maiores poros, significando que quando o solo se encontra saturado e quando ele começa a diminuir essa saturação, e portanto a água presente no solo, o efeito de sucção aumenta. Porém, o volume dos poros de tamanho médio é aumentado em solos compactados, e seus poros pequenos não são afetados. Assim, a curva característica de solos compactados e não compactados apresenta diferenças, principalmente com baixos valores de sucção. Com altos valores de sucção, a água é reclusa, a priori, por adsorção, sendo então que a retenção é uma condição mais textural que estrutural, como mostra a Figura 07.

**Figura 07:** Diferentes curvas características de sucção dependendo da estrutura do solo.



Fonte: Torres, 2013.



Segundo Fredlund e Xing (1994) o valor da entrada de ar em um solo, também conhecido como sucção mátrica e o teor de umidade residual, que é a quantidade de água em que é exigida uma diferença grande da sucção para remover a água remanescente no solo, tal definição exige um processo empírico para ser quantificado. Um jeito de definir o teor de umidade residual é traçando uma reta tangente na intersecção do ponto.

A curva mostrada na extensão da curva de alta sucção pode ser aproximada por outra linha. O teor de umidade residual pode ser aproximado pela ordenada do ponto em que as duas linhas se cruzam.

O total da sucção, correspondente a saturação nula, é, essencialmente, a mesma para todos os tipos de solos. Conforme Gerscovich (2001), altos níveis de sucção não afetam apenas a água livre nos vazios do solo, mas também a espessura das suas envoltórias de hidratação, o que é resultado de o solo decrescer o nível de saturação como um todo. O volume de água que está no solo é o teor de umidade do solo.

As curvas características solo-água são afetadas pela entrada de ar (o que normalmente acresce na plasticidade do solo) ou pelo histórico de tensões que o solo possui.

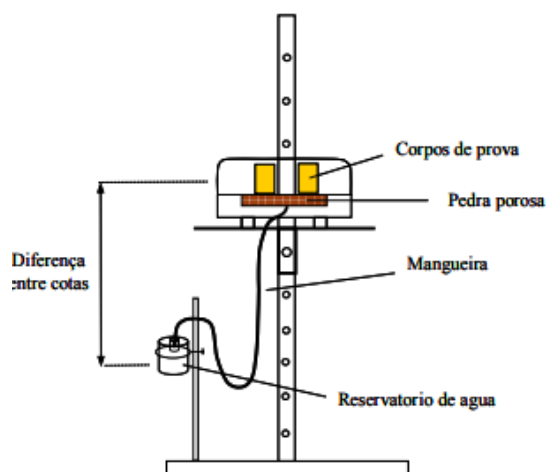
Segundo Gerscovich (2001), normalmente, solos arenosos se caracterizam por ter brusco decréscimo na umidade quando sua sucção excede um determinado valor, já em solos argilosos, a curva é leve quando há variação na umidade.

## 2.6. Obtenção da Curva Característica de Sucção

A curva característica de sucção de um solo pode ser obtida por diversos métodos, podendo esses serem tanto laboratoriais quanto em campo. Dentre esses métodos, os mais conhecidos são os da pedra porosa, o do tensiometro, câmara de pressão de Richards e o do papel filtro.

O método da pedra porosa consiste em uma amostra de solo com a umidade desejada, que em contato com a pedra porosa saturada, busca o equilíbrio desse sistema. O princípio desse aparelho de sucção é que, caso a sucção do solo for superior à sucção na placa porosa, a água irá advir da pedra porosa à amostra, caso contrário, a água irá emanar da amostra de solo à placa. A sucção que será aplicada pela pedra porosa está ligada diretamente à diferença de cota entre a da pedra porosa e o reservatório de água que estará posicionado no final da mangueira, apresentado na Figura 09 (CARDOSO JÚNIOR, 2006).

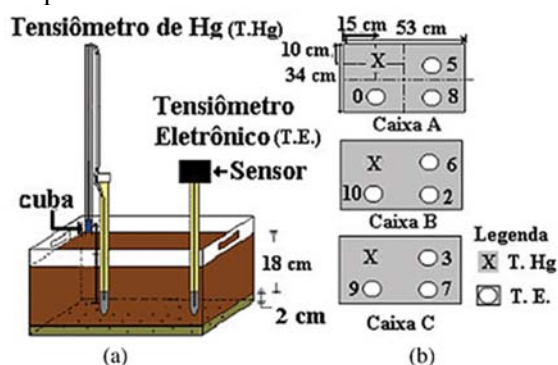
**Figura 09:** Sistema da pedra porosa.



Fonte: Cardoso Júnior, 2006.

No método dos tensiômetros (Figura 10), normalmente trabalha-se com o limite de 90 kPa de valor de sucção, pois passando tal limite, ocorre a cavitação<sup>6</sup> do sistema. Por saber desse limite, foi desenvolvido o Tensiômetro de Alta Capacidade (TAC), que evita a cavitação do sistema com valores superiores a 90 kPa, pois usa volumes de água menores, reduzindo assim os núcleos de cavitação (CARDOSO JÚNIOR, 2006).

**Figura 10:** Sistema do tensiômetro normal, sendo (a) como o solo se dispõe na caixa e (b) como os sensores se dispõem na caixa-teste.



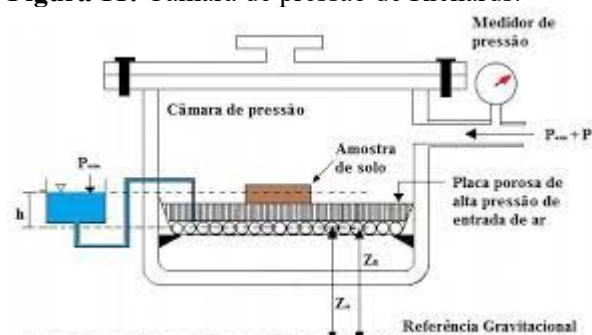
Fonte: Coelho e Teixeira, 2004.

A câmara de pressão de Richards, Figura 11, funciona sendo ligada à atmosfera através de uma placa, onde fica a amostra de solo, sendo que tanto a placa e as amostras devem ser saturadas 24 horas antes do ensaio, repetindo tal operação para quantos valores de sucção mátrica forem necessários para obter a curva de retenção do solo. A placa porosa nesse sistema

<sup>6</sup> “Formação e subsequente colapso, ao longo do escoamento de um líquido, de bolhas ou cavidades preenchidas por vapor de líquido” (VIEIRA JUNIOR, 2004).

seria como uma extensão do solo (por isso a necessidade de estar em contato com o solo) (CARDUCCI E OLIVEIRA, 2011).

**Figura 11:** Câmara de pressão de Richards.



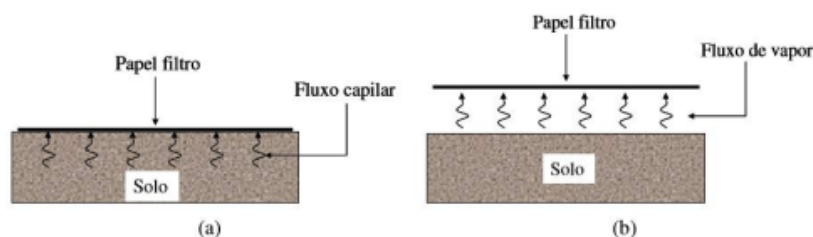
Fonte: Davalo, 2013.

### 2.6.1. Método do papel filtro

Segundo Marinho (1994), o método respalda-se no princípio de absorção e equilíbrio, que consiste na ideia de que, quando um objeto poroso entra em contato com o papel filtro, que apresenta umidade menor que tal objeto, o papel filtro irá absorver a umidade do objeto poroso, até que o sistema esteja equilibrado. A partir disso, obtém-se a relação entre a umidade do material poroso e a sucção do solo, sendo que tal sucção pode-se obter pela curva de calibração e, conforme Bicalho *et al.* (2007), quando o sistema entra em equilíbrio, o solo e o papel filtro terão o mesmo valor de sucção.

Tal método, apresentado primeiramente por Marinho (1997), apresenta 2 opções de utilização com maneiras diferentes e resultados diferentes. O primeiro consiste em deixar o papel filtro em contato com o solo, atuando como uma membrana permeável para solutos e água, obtendo assim a sucção mátrica, representado na Figura 12 a. O segundo tipo é quando o papel filtro não fica em contato direto com o solo, tendo o ar entre o solo e o papel e o papel filtro e o solo atuando como membrana permeável e os resultados obtidos são relacionados à sucção total do solo, representado na Figura 12 b (MARINHO, 1994).

**Figura 12:** Método do papel filtro e suas distintas utilizações: (a) técnica do solo em contato com o papel filtro; (b) técnica sem contato do solo com papel filtro.

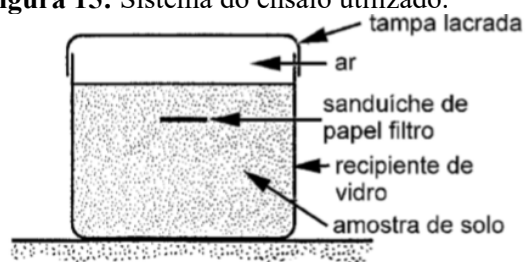


Fonte: Marinho, 1994.

A norma ASTM D 5298-10 especifica o papel filtro da marca Whatman N° 42, usado nesse artigo, ou Schleicher e Schell N° 589 por questão de padronização e por já ter a equação de calibração de tal material, o que facilita o estudo, a norma ASTM D 5298-10 também padroniza que o ensaio deve ser realizado com um tempo mínimo de 7 dias para que o sistema papel filtro-solo entre em equilíbrio e o tempo entre a retirada da amostra e de sua pesagem deve ser de 3 a 5 segundos, com a temperatura de 20°C e variação menor ou igual a 3°C.

Segundo Cardoso *et al.* (1992), a curva característica de sucção de um solo depende diretamente de como ela foi umedecida (por chuva, por exemplo) ou seca (pela evaporação de água, por exemplo), isso se deve, conforme Presa (1982) *apud* Cardoso *et al.* (1992), a geometria não uniforme dos poros que são ligados por pequenos canais, o ângulo de contato da água com o solo (sendo variável e dependendo da rugosidade dos grãos do solo e de sua mineralogia) e da existência de ar entre os poros do solo, sendo que tal efeito normalmente reduz o teor de umidade no umedecimento do solo.

O procedimento restringe-se, substancialmente, em colocar um pedaço de papel filtro em contato com a superfície da amostra de solo, estando tal sistema em um recipiente hermeticamente fechado (Figura 15), deixando por um período até que a água nos vazios da amostra, nos poros do papel-filtro e no ar contido no interior do recipiente entre em equilíbrio de sucção desse sistema. Posteriormente a todo esse processo, determina-se o potencial mátrico da amostra de solo, que é obtido a partir da calibração do papel filtro, cujo a relação é entre o potencial matricial e o teor de umidade (ASTM D 5298, 2010). A água que se encontra nos vazios do solo se move através do papel filtro junto com a água absorvida por ele (Lee & Wray, 1995 *apud* Cardoso *et al.*, 1992).

**Figura 15:** Sistema do ensaio utilizado.

Fonte: Campos *et al.*, 1992.

Por ser o método com contato entre o solo e o papel filtro, a sucção que ocorrerá no solo é a capilar, que, segundo Campos *et al.* (1992), está diretamente relacionada com o nível de macroestrutura que o solo tem, sendo que seus poros interligados fazem com que a água flua entre eles pelo seu gradiente de pressão capilar.

O tempo em que o sistema solo-papel filtro busca o equilíbrio é indeterminado, porém Leong *et al.* (2002) *apud* Lucas *et al.* (2011) define que 7 dias é tempo bastante para que seja atingido o potencial matricial, porém Fawcett e Collis-George (1967) *apud* Lucas *et al.* (2011) cita que quando os potenciais são muito baixos, os períodos de tempo podem ser maiores.

No presente estudo, foi utilizado o papel filtro Whatman nº 42, por ter sido padronizado pela ASTM D 5298-10, por apresentar umidade ao ar de aproximadamente 6%, segundo Vivian (2008), por poder pegar isso como parâmetro para a medição e por Chandler & Gutierrez (1986) *apud* Cardoso *et al.* (1992) citar que tal papel filtro é mais apropriado ao estudo por ser mais espesso e ter poros pequenos.

As desvantagens apresentadas pelo método são que o tempo até que o equilíbrio seja alcançado, o efeito que a variação de temperatura tem e as medições da massa do papel filtro terem que ser extremamente precisas (CAMPOS *et al.*, 1992), sabendo de tudo isso e balanceando com as vantagens, citadas anteriormente.

## 2.x. Sucção para o solo de Cascavel

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS



A litologia<sup>7</sup> do solo de Cascavel foi definida por Schneider (1970) *apud* Ghaidin *et al* (2006), é da rocha basalto vacuolar, apresentando a coloração preta, brilho resinoso, com predominância de plagioclásio<sup>8</sup>, piroxênios<sup>9</sup>, magnetita<sup>10</sup> e alguns minerais secundários.

Damin (2012), classifica granulometricamente o solo como argila-siltosa, apresentando a média dos valores adquiridos no ensaio granulométrico 59% de partículas finas de argila, 20% de partículas de silte e 21% de partículas com diâmetro característico de areia. Já Zen (2016) caracterizara o solo do CEEF em Cascavel-PR, no aspecto geotécnico, como A-7 pela HRB (Highway Research Board), o que significa que é um solo argiloso e apresenta comportamento fraco ou pobre como subleito (GRECO, 2015) e os limites do Limite de Liquidez e de Plasticidade pela Figura 20, e majoritariamente CH pela AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials), o que significa que é um solo argiloso com alto LL (acima de 50%), além de apresentar a classificação dos 5 primeiros metros (Tabela 1) e os índices físicos, como consta na Tabela 2. Tais identificações serão mantidas neste trabalho.

### 3.2. Coleta das amostras

As amostras foram retiradas de um poço de inspeção de solo feito no CEEF, o qual possui 5 metros de profundidade. Tal poço de inspeção de solo foi realizado exclusivamente para a pesquisa, definido pela ABNT NBR 9604/1986 como sendo a escavação vertical, com sua seção podendo ser tanto circular quanto quadrada, no caso desse estudo é circular, seção de 1 metro, feita de modo a ser possível a inspeção das paredes e fundo do poço no solo, assim como a retirada de amostras que caracterizam o solo, podendo essas serem deformadas ou indeformadas, no caso do presente estudo, indeformadas.

As amostras foram coletadas de modo a manter sua estrutura indeformada. Após coletar as amostras, elas foram acondicionadas em plásticos estancados, a fim de manter a umidade que o solo continha em campo e então serão armazenados em caixas para transportar as

---

<sup>7</sup> Definida por Giasson (2010), é a formação geológica que o solo se originou.

<sup>8</sup> São partículas que se constituem por feldspatos formados por Cálcio (Ca) e Sódio (Na), com pouca quantidade de Potássio (K) que depende da temperatura, e com pouca parcela de Estrôncio (Sr) e/ou Bário (Ba) (VLACH, 2002).

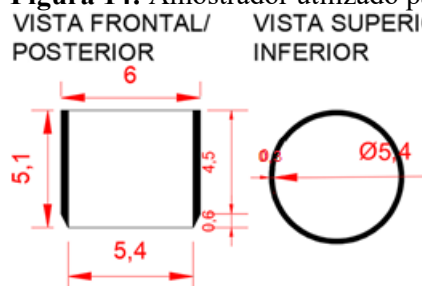
<sup>9</sup> Segundo Garda e Atencio (1990), são um grupo de silicatos que contêm metassilicatos (SiO<sub>3</sub>) formadas por ortossilicatos (SiO<sub>4</sub>) interligados. Normalmente, algumas quantidades de Silício (Si), são trocados por Alumínio (Al) ou outros cátions pequenos.

<sup>10</sup> Óxido de ferro cúbico, segundo o dicionário Aurélio.

amostras até o Laboratório de Mecânica dos Solos da FAG, local onde foram iniciados os ensaios laboratoriais.

Foram coletadas 8 amostras indeformadas de solos por metro, do 1 ao 5, totalizando 40 amostras, sendo que para a retirada de tais amostras, foi utilizado o amostrador demonstrado na Figura 14.

**Figura 14:** Amostrador utilizado para amostras.



Fonte: Autora, 2018.

O amostrador penetrado no fundo de uma cava no CEEF, colocado cuidadosamente no solo para não o deformar e buscando não alterar as condições físicas em que ele se encontra. Quando já introduzido o penetrador no solo, foi usada uma espátula para retirar o solo adjacente ao amostrador, cortando o pavimento em volta e em baixo da amostra coletada.

Buscou-se introduzir o amostrador a uma profundidade em que o mesmo ficasse aproximadamente a 1 cm abaixo do nível do solo requerido, para evitar a compactação da camada superficial do solo devido ao aprofundamento do amostrador no solo, como recomenda Bortolon *et al* (2009).

Cuidados recomendados por Bortolon *et al* (2009) foram tomados anteriormente à realização do ensaio para a obtenção de bons resultados, tais como escolher o amostrador com acabamento em forma de bisel, com espessura menor que 1 mm e afiada para facilitar a penetração no solo e também passar óleo mineral na parte externa do amostrador, a fim de diminuir o atrito solo-amostrador, de forma que o óleo não entre em contato com a amostra de solo dentro do amostrador, mas sim com o solo que fica externo a ele. Tal procedimento é recomendado principalmente para solos com alto conteúdo de argila e umidade, o que é o caso do solo estudado nesse artigo.

### 3.4. Determinação da sucção pelo papel filtro



O método do papel filtro é uma técnica que apesar de ser simples, barata, rápida e com vasta medida de sucção, é um método que requer cuidados muito peculiares para que seu resultado seja fidedigno. A faixa de resultado que o método do papel filtro alcança é entre 10 e 100.000 kPa (MARINHO, SOTO e GITIRANA JUNIOR, 2015).

A técnica designada do método do papel filtro é a do contato com o solo, obtendo, portanto, a sucção mátrica, como foi descrito previamente no capítulo 2. Esse método foi escolhido por ser o mais citado em bibliografias, segundo Marinho (1994) *apud* Vivian (2008), é possível obter curvas de sucção total a partir das curvas de sucção mátrica, alguns autores citam que o comportamento de solos não saturados dependem essencialmente e basicamente da sucção mátrica (Fredlund, 1979 e Edil e Motan, 1984 *apud* Cardoso *et al*, 1992), a parcela osmótica da sucção se dar devido à diferença de concentração de solutos no solo e segundo Blight (1983) *apud* Cardoso *et al*. (1992) não contribuir tanto à resistência ao cisalhamento e ainda, segundo Fredlund e Xing (1994), quando a sucção atinge níveis acima de 1.500 kPa, a sucção mátria e total podem ser consideradas equivalentes.

#### 3.4.1. Procedimento do ensaio

Inicialmente, após coletadas as mostras, umedece totalmente o papel filtro e coloca o mesmo na estufa por no mínimo 16 horas e faz o mesmo com o solo. Então, quando ambos estiverem totalmente secos, umedece-se a amostra de solo até que atinja a umidade requerida, parte o solo em 2 e coloca papel filtro<sup>11</sup> entre as partes. Logo após, coloca-se o sistema solo-papel filtro em um recipiente hermeticamente vedado e espera-se de 2 a 10 dias, normalmente 7, para que o equilíbrio seja atingido. Durante todo esse processo, deve-se deixar o sistema em uma caixa de isopor para que o efeito de histerese no papel filtro fosse evitado, ele foi usado em uma trajetória de umedecimento, a variação da temperatura durante o período em que o sistema busca o equilíbrio aumenta a variabilidade dos resultados e a não confiabilidade do ensaio (AL-KHAFAT & HANKS, 1974 *apud* LUCAS, *et al*, 2011). A ASTM D 5298-10 considera que a temperatura nominal deve ser de 20°C, com uma variação menor ou igual a 3°C.

---

<sup>11</sup> A ASTM 5298 recomenda que use 3 papeis filtro entre as amostras de solo.

Após ter passado o tempo estabelecido, remove-se o papel filtro com pinças e então coloca-os imediatamente em cápsulas, lacradas igualmente rápido (3 a 5 segundos pela ASTM D 5298-10). Então começa-se o monitoramento da perda de umidade do papel por 5 minutos, sendo que no 1º minuto as leituras são realizadas a cada 10 segundos e após esse 1º minuto, são realizadas de 30 em 30 segundos, medindo-se a massa dos papeis filtro. Após todas as medições serem feitas, o papel filtro é colocado em uma tampa de cápsula e é inserido na estufa a 60°C por no mínimo 48 horas, para então ser medida sua massa seca.

Os dados obtidos nesses procedimentos foram os dados que tornaram possível o cálculo do teor de umidade do papel filtro, utilizado como dado de entrada para a curva de calibração do mesmo e também considerada a sucção do papel filtro, a qual é a mesma que a do solo, já que o sistema se encontra em equilíbrio. O teor de umidade do solo e a sucção que ele apresentava no momento condiz com um ponto na curva característica de sucção.

### 3.4.2. Curva de sucção de Cascavel

Lucas *et al* (2011) estudou a sucção para o solo de Cascavel e definiu que a melhor equação para definir a sucção era a Equação X.

$$\log \psi_m = 4,9322 - 0,0836 \cdot w_f \quad (4)$$

Na qual:

$\Psi_m$  = potencial mátrico;

$w_f$  = umidade do papel filtro.

A conclusão que Lucas *et al* (2011) chegou quanto à umidade volumétrica foi que a melhor forma de definir a mesma para o nosso solo seria pela Equação X.

$$\theta = 0,12062 + \frac{0,42784}{[1 + (0,05219 \cdot \psi_m)^{1,005}]^{0,13404}}$$

Na qual:

$\theta$  = Umidade Volumétrica;

$\psi_m$  = Sucção Mátrica (kPa).

### 3.4.3. Obtenção da curva de sucção de modo geral

Existem diversos métodos para determinar a curva de sucção, para fins comparativos, utilizou-se as curvas de Burdine (1953) e Fredlund and Xing (1994), sendo que tais equações tem os fatores de ajuste da curva  $a$ ,  $m$  e  $n$ , definidos conforme a curva de sucção do solo é, portanto, variando de solo para solo.

| AUTORES                  | EQUAÇÃO                                                                                    | FATORES DEPENDENTES           |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Burdine (1953)           | $w = \frac{w_s}{\left[1 + \left(\frac{\psi}{a}\right)^{n_b}\right]^{m_b}}$                 | $a, m_b, n_b, \theta_s, \psi$ |
| Fredlund and Xing (1994) | $w = C \cdot \frac{w_s}{\left[\ln\left(e + \left(\frac{\psi}{a}\right)^n\right)\right]^m}$ | $a, m, n, \theta_s, C, \psi$  |

Onde:

$w$  = umidade volumétrica;

$w_s$  = umidade da amostra;

$a, m, n$  = fatores de ajuste;

$\theta_s$  = umidade volumétrica correspondente ao grau de saturação de 100%;

$\psi$  = sucção;

$C$  = fator de correção do limite superior da sucção.

Sendo que o valor de  $C$ , fator de correção do limite superior da sucção, pode ser calculado pela Equação 10.

$$C = \frac{-\ln\left(1 + \frac{\psi}{\Psi_r}\right)}{\ln\left[1 + \left(\frac{1.000.000}{\Psi_r}\right)\right]} \quad (10)$$

Na qual:

$C$  = fator de correção do limite superior da sucção;

$\Psi$  = sucção;

$\Psi_r$  = sucção dos diâmetros de pequeno raio no solo<sup>12</sup>.

Já os fatores de ajuste  $a$ ,  $m$  e  $n$  variam conforme a curva se adeque melhor ao solo estudado, sendo que o fator  $a$  varia entre 1, 10, 100 e 1000 e os fatores  $m$  e  $n$ : variam entre 0,5; 1; 2 e 4.

<sup>12</sup> Segundo Gerscovich (2012) pode ser igualado à sucção.

Sendo que para a fórmula de Burdine (1953) os fatores  $m$  e  $n$  mudam, seguindo as equações 11, 12.

$$m_{bordine} = \frac{2}{1 - m} \quad (11)$$

$$n_{bordine} = \frac{2}{1 - n} \quad (14)$$

#### 3.4.4. Análise de dados

A análise de dados foi realizada pela curva obtida através dos dados obtidos e comparados com a curva de sucção determinada para o solo de Cascavel/PR por Lucas *et al* (2011), e curvas para solos finos determinadas por Fredlund e Xing (1994) e Burdine (1954) para solos argilosos. Com os valores de sucção determinados para as 40 amostras as mesmas foram plotadas em um par de eixos relacionando a umidade volumétrica x sucção e as curvas de sucção determinadas pelos autores.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram 40 amostras comparadas, sendo 8 por metro, variando em 2,5% a umidade entre elas, tendo então a variação de 2,5% a 20% entre as amostras, não sendo feita a repetição de amostras para uma mesma umidade.

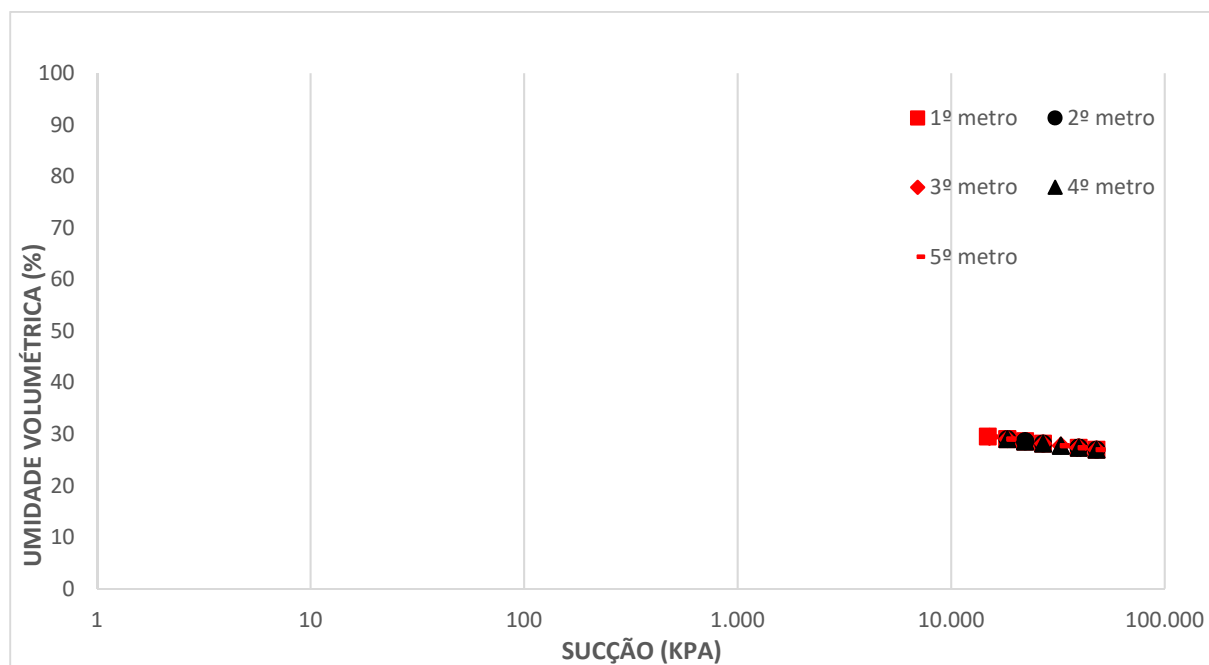
Os resultados obtidos na pesquisa podem ser observados no Figura 01, na qual se encontram os valores da umidade e sucção mátrica alcançados pelo ensaio do papel filtro.

A faixa de variação da sucção entre as amostras conforme foi aprofundando as mesmas avaliadas é pequena, já a tendência de queda da sucção conforme aumenta a umidade da amostra estudada é grande, o que já era previsto, já que vai ter mais água para o solo reter e também por ter a redução do índice de vazios conforme a amostra se aprofunda.

Segundo Campos (1984) *apud* Soares (2008), a sucção varia de forma inversa ao teor de umidade e tende a um valor nulo conforme o solo se aproxima de ficar saturado, a curva tem

forma contínua e gradativa. Tendo os resultados da sucção e da umidade volumétrica, lançados no gráfico para que fosse possível obter a curva de sucção do solo, como mostra o Figura 01.

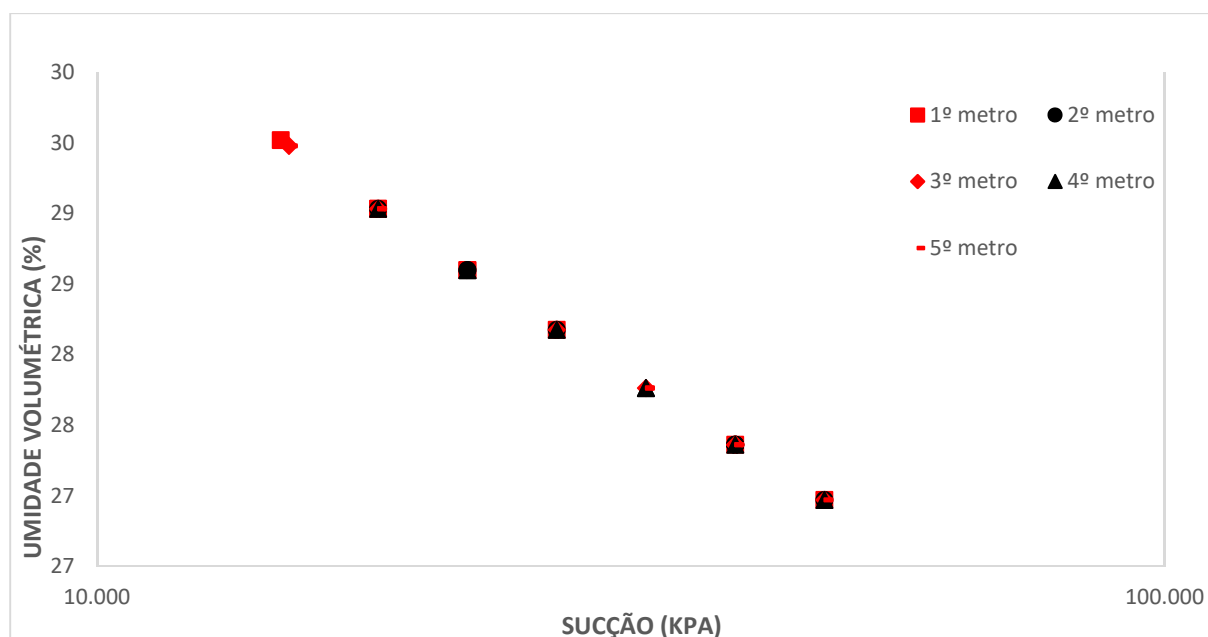
**Figura 01:** Curva de sucção obtida pelos ensaios.



Fonte: Autora, 2018.

Para que fosse possível fazer uma análise mais detalhada dos resultados, aproximou-se os resultados, como demonstra o Figura 02.

**Figura 02:** Curva mais aproximada dos dados de sucção obtidos pelos ensaios.

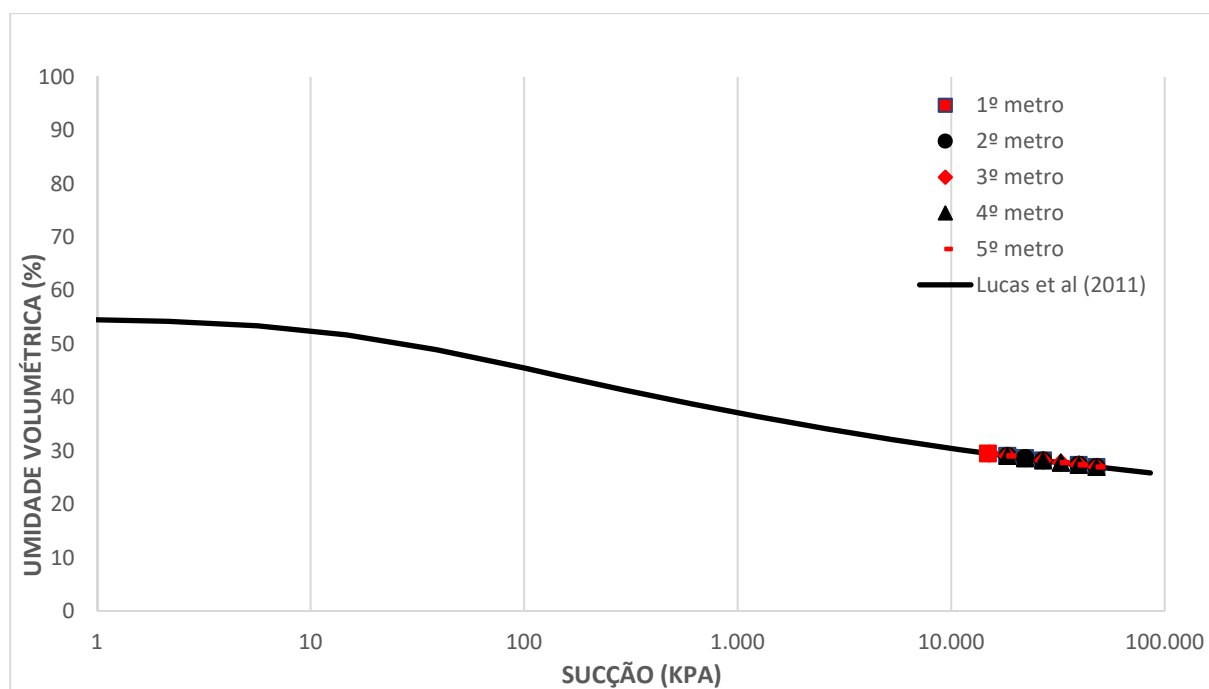


Fonte: Autora, 2018.

#### 4.1. Resultados obtidos comparados com os de Lucas *et al* (2011)

A faixa de variação de umidade realizada não foi tão ampla para que fosse possível ter a curva inteira de sucção, porém comparando com a curva obtida pela bibliografia de referencia de Lucas *et al* (2011), que obteve toda curva de sucção do solo de Cascavel-PR pelo método do papel filtro, os resultados e a curva obtida se mostraram corretos, como analisado no Gráfico 03.

**Figura 03:** Dados obtidos no estudo com os dados da curva de Lucas *et al* (2011).



Fonte: Autora, 2018.

A curva de sucção de Lucas *et al* (2011) foi traçada variando os valores de sucção para que fosse possível obter a curva, mostrando que os valores obtidos no ensaio, de 2,5 a 20%, foram satisfatórios.

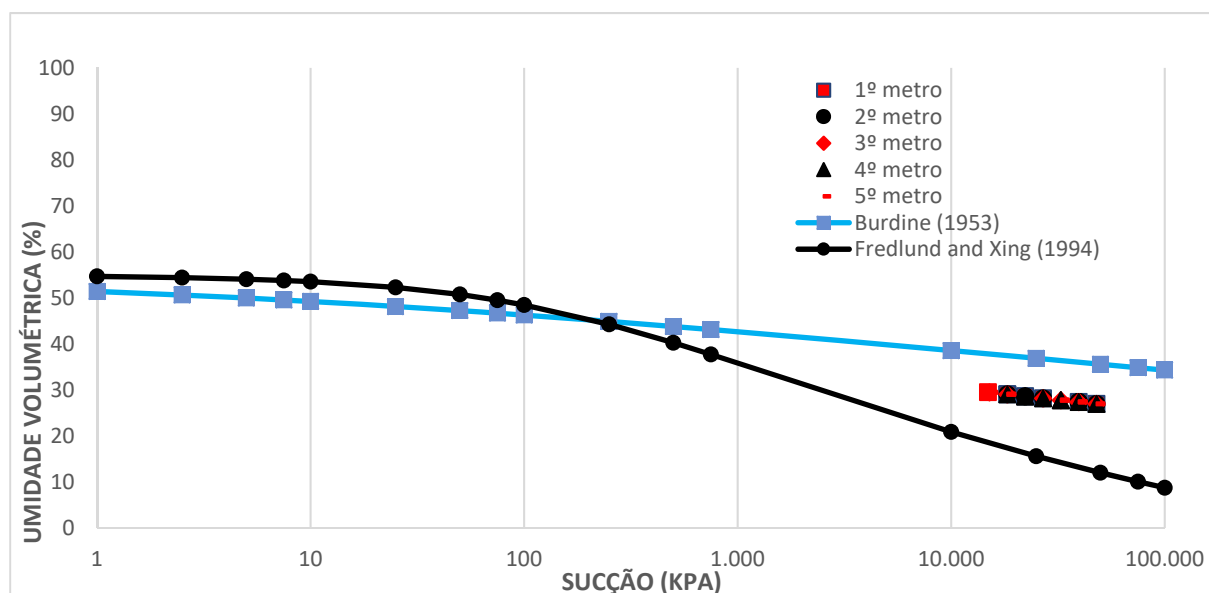
Após ser obtidas as curvas de cada autor, variando os fatores, as equações que mais se ajustaram à curva de Lucas *et al* (2011) foi a de Fredlund and Xing (1994) com os fatores  $a = 1000$  m,  $n = 0,5$  e a de Burdine (1953) com os fatores de  $a = 100$  m,  $n = 1$ , como consta no Gráfico 04 e Apêndice B.

#### 4.1. Curva de sucção mais adequada para Cascavel/PR

Os fatores  $a$ ,  $m$  e  $n$  são fatores de ajuste da curva de sucção, portanto deve-se verificar quais valores se adequam melhor para cada tipo de solo, para que seja possível obter a curva que mais seja compatível ao solo do local estudado. Comparando as diversas equações e fatores de ajuste, os que mais se adequaram foram a de Fredlund and Xing (1994) com os fatores  $a = 1000$  m,  $n = 0,5$  e Burdine (1953) com os fatores  $a = 100$  m,  $n = 1$  (valores de umidade

volumétrica obtidos no Apêndice B). Obteve-se as curvas de sucção do solo com tais fatores e comparou-se com os valores obtidos, como mostra a Figura 02.

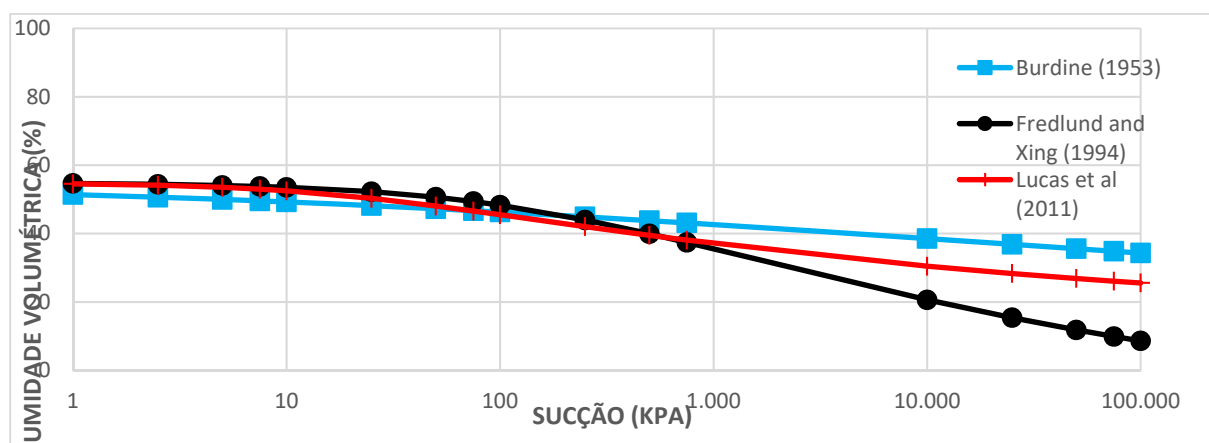
**Figura 02:** Curva com os resultados obtidos, curva de Fredlund and Xing (1994) e Burdine (1953) com os fatores de ajuste que melhor se adequaram.



Fonte: Autora, 2018.

Tendo também a curva de Lucas *et al* (2011), comparou as curvas de Fredlund and Xing (1994) e Burdine (1953) com os mesmos fatores de ajuste (Figura 03).

**Figura 04:** Curvas de Lucas *et al* (2011), Fredlund and Xing (1994) e Burdine (1953) com os fatores de ajuste que melhor se encaixaram.

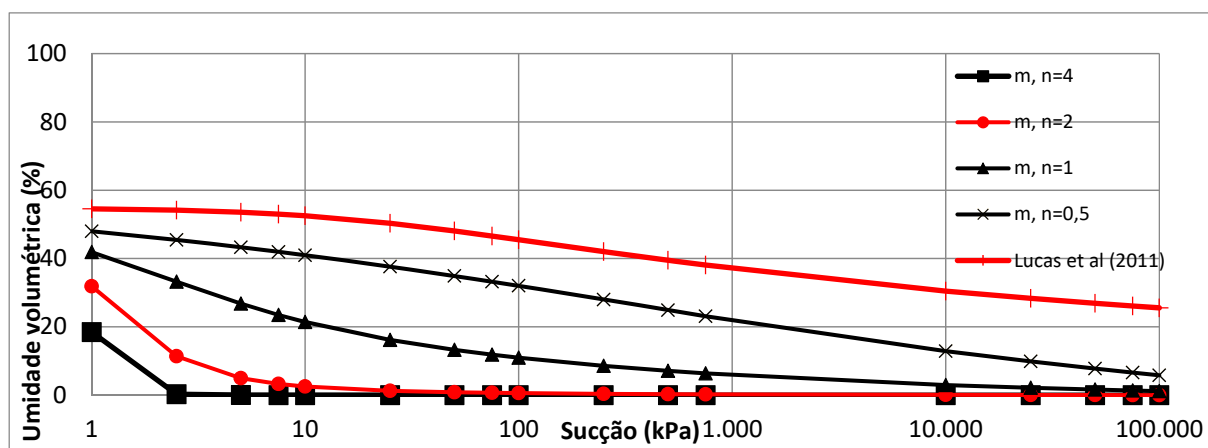




Fonte: Autora, 2018.

Por a curva de Fredlund and Xing (1994) se adequar melhor à curva de Lucas *et al* (2011), foi comparada a variação dos fatores  $a$ ,  $m$  e  $n$  e suas influencias nas curvas, como mostram as Figuras 05, 06, 07 e 08.

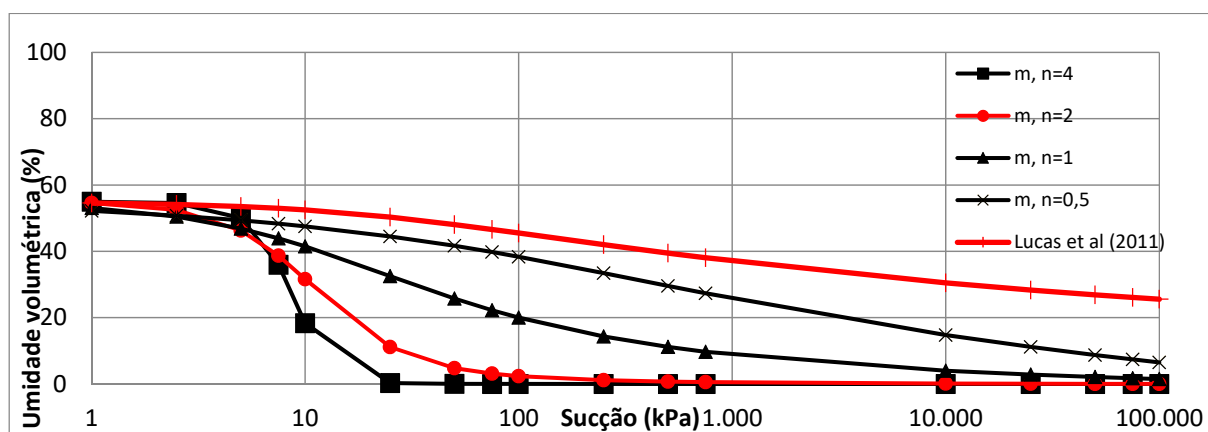
**Figura 05:** Curva de sucção de Fredlund and Xing (1994) com variação dos fatores  $m$  e  $n$  com o fator  $a=1$  e curva de Lucas *et al* (2011).



Fonte: Autora, 2018.

O Gráfico 05 mostrou que fixando o fator de ajuste  $a$  como 1 e variando os fatores  $m$  e  $n$ , gera uma variação nos valores de sucção desde o início da sucção (1 kPa) e essa mudança continua por toda a curva de sucção.

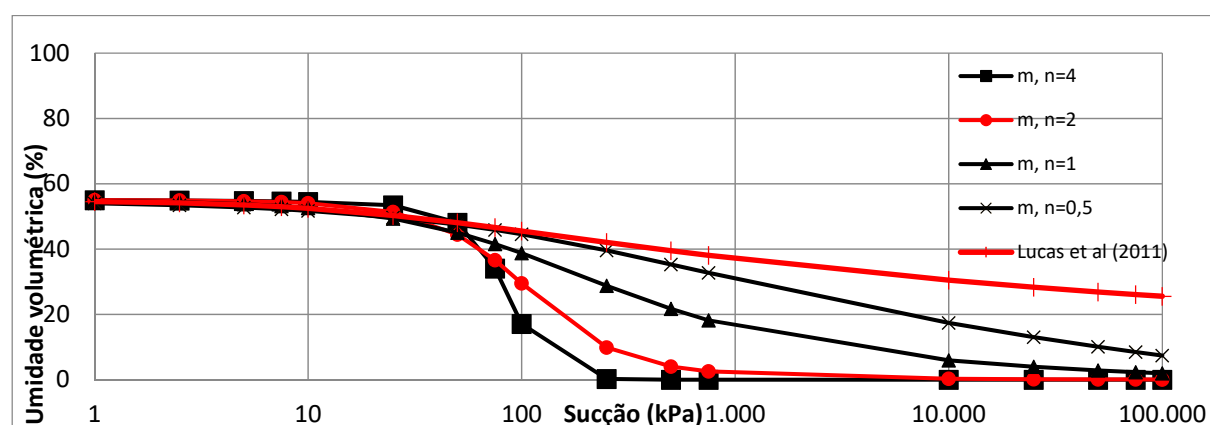
**Gráfico 06:** Curva de sucção de Fredlund and Xing (1994) com variação dos fatores  $m$  e  $n$  com o fator  $a=10$  e curva de Lucas *et al* (2011).



Fonte: Autora, 2018.

No Gráfico 06 pode-se notar que com o fator de ajuste  $a = 10$ , o início das curvas não variam muito entre elas, porém a partir da sucção de 7,5 kPa as sucções começam a mudar muito, gerando diferença nas curvas de sucção.

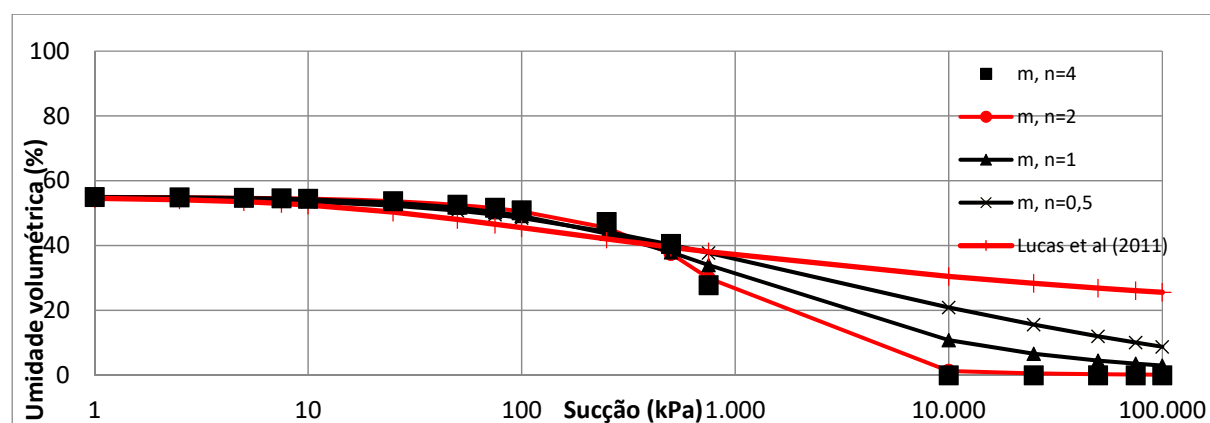
**Gráfico 07:** Curva de sucção de Fredlund and Xing (1994) com variação dos fatores  $m$  e  $n$  com o fator  $a=100$  e curva de Lucas *et al* (2011).



Fonte: Autora, 2018.

O Gráfico 07 mostra que estabelecendo  $a$  como 100 as sucções permanecem semelhantes até a sucção de 50 kPa, variando demasiadamente os valores das sucções, e, portanto, as curvas de sucções, a partir de então.

**Gráfico 08:** Curva de sucção de Fredlund and Xing (1994) com variação dos fatores  $m$  e  $n$  com o fator  $a=1000$  e curva de Lucas *et al* (2011).



Fonte: Autora, 2018.

Como mostra o Gráfico 08, com o valor de  $a$  estabilizado em 1000, temos que os valores de sucção permanecem quase idênticos e que seus valores variam com início na sucção de 500 kPa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método do papel filtro se mostrou ser eficaz para obter as sucções entre 10 e 100.000 kPa quando comparado com as bibliografias utilizadas, sendo tal método então uma alternativa boa para medir a sucção de um solo por um método rápido e barato quando comparado aos outros existentes.

As curvas de sucção obtidas pelos ensaios apresentaram comportamento semelhantes aos das bibliografias referenciadas, porém mostrou-se essencial o cuidado enorme com as particularidades do método, as quais caso não seja dada a devida atenção, pode colocar todo o andamento e resultados da pesquisa em risco.

Os valores que se mostraram melhores para o solo de Cascavel foram nas equações de Fredlund and Xing (1994) com o fator  $a$  fixado em 1000 e  $m$ ,  $n$  sendo 0,5 e com a equação de Burdine (1953) com o fator  $a$  estabelecido em 100 e  $m$ ,  $n = 1$ . Tais valores foram comparados com a curva de Lucas *et al* (2011), que deu a equação que seria melhor para o solo de Cascavel, porém o ideal seria realizar ensaios e testemunho para variadas porcentagens de umidade, de forma que fosse possível obter a curva de sucção completa.

Validou-se os resultados obtidos pela bibliografia de Lucas *et al* (2011) e mostrou-se a importância de estudar os fatores de ajuste das curvas e verificar qual se ajusta melhor ao solo estudado, pois eles mostram grande diferenças nos valores de sucção quando variados, gerando grande variação na curva de sucção e em diferentes pontos da mesma dependendo qual fator é utilizado.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). **NBR 9604 - Abertura de Poço e Trincheira de Inspeção em Solo, com Retirada De Amostras Deformadas e Indeformadas**. Rio de Janeiro - RJ, 9p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). **NBR 6502 - Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro - RJ, 33p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 5298: Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper**. Washington, D.C. [S.l.]: 2010.

AURELIO, O **minidicionário da língua portuguesa**. 4ª edição revista e ampliada do minidicionário Aurélio. 7ª impressão – Rio de Janeiro, 2002.

BICALHO, K. V., FERREIRA, S. R., CORREIA, A. G., FLEUREAU, J-M., MARINHO, F. A. M., **Filter Paper Method of Soil Suction Measurement**, Isla Margarita - VENEZUELA. 2007

BLAŽKA, P., FISCHER, Z. **Moisture, Water Holding, Drying and Wetting in Forest Soils**. Open Journal of Soil Science: v.31, [S.l.]: 2014.

BONDER, B. H. **Curvas de Retenção de Água de um Solo Coluvionar de Campinas Obtidas Mediante Técnicas de Laboratório e de Campo**. Campinas - SP, 2008.

BORTOLON, L., GIANELLO, C., CONTE, O., OLIVEIRA, E. S., LEVIEN, R.; **Equipamento para Coleta de Amostras Indeformadas de Solo para Estudos em Condições Controladas**. Porto Alegre - RS, 2009.

CAMPOS, T. M. P.; DELGADO, C. C.; TIBANA, S.; AGUILAR, S. A. S.; FONSECA, R. C. **Determinação da Curva Característica de Sucção em Laboratório**. In 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – 1ª COBRAE: Rio de Janeiro: 1992.

CARDOSO JÚNIOR, C. R.; **Estudo do Comportamento de um Solo Residual de Gnaisse Não Saturado Para Avaliar a Influência da Infiltração na Estabilidade de Taludes**. São Paulo - SP, 2006

CARDOSO, D. L. ; MEDEIROS, J. A. . **Propriedades geotécnicas do solo da região de Cascavel - PR**. In: I ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO DO PARANÁ, 2003, Maringá. I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto do Paraná. Maringá: Ed. UEM, 2003. v. 1. p. 226-231.

CARDUCCI, Carla Eloize; OLIVEIRA, Geraldo César de. **Adequabilidade de Uso da Terra**. Lavras, 2011.

COELHO, Silvana L.; TEIXEIRA, Adunias dos S.. **Avaliação Do Tensiômetro Eletrônico No Monitoramento Do Potencial Matricial De Água No Solo**. 2004. 10 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, 2004.

DALMOLIN, C. **Segunda e Terceira Lei da Termodinâmica**. Joinville - SC, s/d.

DAMIN, E., **Aplicação do Modelo Cam-Clay Modificado ao Solo de Cascavel/PR**. Cascavel – PR, 2012.

DAVALO, Marcelo Jara. **Curva de Retenção de Água no Solo Estimado pelo Método da Câmara de Richards e Psicrômetro**. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed., Brasília – DF, 2006.

FEITOSA, R., PEREIRA, M., SILVA, M., **Fenômenos de Sorção em Solo**. Disponível em: <<https://bit.ly/2FcLwL8>> acesso em: 06 abr. 2018.

FREDLUND, D. G.; XING, A. **Equations for the Soil-Water Characteristic Curve**. Canadian Geotechnical Journal: v.31, [S.l.]: 1994.

GARDA, G. M., ATENCIO, D. **Nomenclatura de Poroxênios**. São Paulo - SP, 1990.

GEOCASCABEL <<https://bit.ly/2RIhzEc>> acesso em 12 abr. 2018

GERSCOVICH, D. M. S., **Equações para Modelagem da Curva Característica Aplicadas a Solos Brasileiros**. Porto Alegre – RS, 2001.

GERSCOVICH, D. M. S., **Tensões**. Rio de Janeiro - RJ, 2008.

GERSCOVICH, Denise M. S.. **Estabilidade de Taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 192 p.

GHIDIN, A. A., MELO, V. F., LIMA, V. C., LIMA, J. M. J. C., **Topossequências de Latossolos Originados de Rochas Basálticas no Paraná. II – Relação Entre Mineralogia da Fração Argila e Propriedades Físicas dos Solo**. Chopinzinho – PR, 2006

GIASSON, E.; **Gênese e Classificação dos Solos**. Porto Alegre - RS, 2010.

GOOGLE EARTH – MAPAS <<http://mapas.google.com>> acesso em 12 abr. 2018.

GRECO, J. A. S., **Materiais para Pavimentação**. 2015

HOUSTON, S. L.; HOUSTON, W. N.; WAGNER, A. M. **Laboratory Filter Paper Suction Measurements**. Geotechnical Testing Journal: v. 17, [S.l.]: 1994.

LACERDA, C. F., **Relações Solo-Água-Planta em Ambientes Naturais e Agrícolas do Nordeste Brasileiro**. Recife - PE, 2007.

LEE, H.C., WRAY, W.K, **Techniques to Evaluate Soil Suction – A Vital Unsaturated Soil Variable**. In Proceedings of the 1st International Conference on Unsaturated Soils, Paris, 1995.

LUCAS, Juliana Fenner Ruas; TAVARES, Maria Hermínia Ferreira; CARDOSO, Décio Lopes; CÁSSARO, Fábio Augusto Meira. **Curva De Retenção De Água No Solo Pelo Método Do Papel-Filtro**. 2011. 8 f. Unioeste, Cascavel, 2011.

MACHADO, S.L. ; VILAR, O.M. **Constitutive Model for Municipal Solid Waste**. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, EUA, v. 128, n.11, p. 940, 2002.

MARINHO, F. A. M. **Shrinkage Behaviour of some Plastic Soils**. PhSThesis – Imperial College, University of London: 1994.

MARINHO, SOTO e GITIRANA JUNIOR, **Solos Não Saturados No Contexto Geotécnico**. 2015

MENEZES, L. P., **Determinação da Curva de Retenção de Água em Solos Utilizando Bomba de Fluxo**. Ouro Preto - MG, 2013.

MONCADA, M. P. H., **Estudo em Laboratório de Características de Colapso e Transporte de Solutos Associados à Infiltração de Licor Cáustico em um Solo Laterítico**. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

PAIXÃO, Manuelle Santos Góis. **Análise da acurácia das estimativas de posicionamento do nível freático e dos teores de umidade do solo com o emprego dos métodos de sísmica de refração rasa e georadar a partir de um estudo no campus da USP, São Paulo/SP**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Usp, São Paulo, 2005.

PINTO, C. S., **Curso Básico de Mecânica dos solos em 16 aulas**. 1ª ed. Oficina de Textos. 2006

REINERT, D. J., REINERT J. M., **Propriedades Físicas do Solo**. Santa Maria - RS, 2006.

REICHARDT, K., TIMM, L. C., **Solo, Planta e Atmosfera. Conceitos, Processos e Aplicações**. 2ª ed. Manole. 2012.

dos SANTOS, M. A. L. dos, SANTOS, C. G. dos, SANTOS, D. P. dos, VIEIRA, J. H., DA L. J., SANTOS, S., DIVINCULA, J. da S., **O Fenômeno da Histerese nas Curvas de Retenção da Água no Solo e no Manejo da Irrigação**. São Cristóvão – SE, 2015.

SILVA, M. M., **Medidas do Potencial da Água do Solo**. Piracicaba - SP, 2005

SOARES, Ecidinéia Pinto. **Caracterizações geotécnica e mineralógica de um filito dolomítico do Quadrilátero Ferrífero com vistas ao estudo de estabilidade de taludes incorporando a sucção**. 2008. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SOTO, M. A. A. **Comparação Entre Métodos de Imposição e de Controle de Sucção em Ensaios com Solos Não Saturados**. São Paulo – SP, 2004.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. Nova Iork: Oxford University Press, 2008. 329p.

TORRES, R., **Armazenamento de Água e Energia no Solo**. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

VIEIRA JÚNIOR, Luis Paulo Peixoto. **Simulação Computacional da Presença de Cavitação em Turbobombas Sujeitas à Alteração de Rotação do Rotor**. 2004. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VIVIAN, J. B.; **Utilização do Método do Papel Filtro para a Determinação das Curvas Características de um Solo Coluvionar Não Saturado Contaminado com Óleo Diesel**. Porto Alegre- RS, 2008

VLACH, S. R. F.; **A Classe dos Tectossilicatos**. São Paulo - SP, 2002.

ZEN, B. A. B., **Caracterização Geotécnica do Subsolo do Campo Experimental do Centro Acadêmico da FAG em Cascavel - PR**. Cascavel – PR, 2016.

## **APÊNDICE A**

# AVENIDA TITO MUFFATO

## ALINHAMENTO PREDIAL





| Lucas et al<br>(2011) | w     |
|-----------------------|-------|
|                       | 54,85 |
|                       | 53,54 |
|                       | 52,51 |
|                       | 51,66 |
|                       | 50,94 |
|                       | 50,31 |
|                       | 49,76 |
|                       | 49,27 |
|                       | 48,83 |
|                       | 48,43 |
|                       | 48,07 |
|                       | 47,73 |
|                       | 47,42 |
|                       | 47,13 |
|                       | 46,85 |
|                       | 46,60 |
|                       | 46,36 |
|                       | 46,13 |
|                       | 45,92 |
| 45,71                 |       |
| 45,52                 |       |

| <b>a</b> | <b>m</b> | <b>n</b> | <b>Burdine<br/>(1953)</b> | <b>w</b> |
|----------|----------|----------|---------------------------|----------|
| 100      | 1        | 1        |                           | 51,40104 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 50,63563 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 49,97623 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 49,55723 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 49,24483 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 48,11659 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 47,26583 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 46,70693 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 46,29639 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 44,91598 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 43,80481 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 43,13141 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 38,54534 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 36,86183 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 35,58693 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 34,84394 |
| 100      | 1        | 1        |                           | 34,31897 |

| <b>a</b> | <b>m</b> | <b>n</b> | <b>Fredlund<br/>and Xing<br/>(1994)</b> | <b>w</b> |
|----------|----------|----------|-----------------------------------------|----------|
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 54,68120 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 54,41473 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 54,07690 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 53,79393 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 53,54176 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 52,30453 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 50,74785 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 49,51526 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 48,48406 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 44,24260 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 40,26190 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 37,73495 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 20,86879 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 15,59856 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 12,00677 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 10,06694 |
| 1000     | 0,5      | 0,5      |                                         | 8,76008  |