

**APLICAÇÃO DE MODELOS DE AJUSTES DE CURVAS  
CARACTERÍSTICAS SOLO ÁGUA EM SOLOS TROPICAIS**

**APPLICATION OF MODELS OF ADJUSTMENTS OF SOIL WATER  
CHARACTERISTICS CURVES IN TROPICAL SOILS**

**ALEXANDRE GARCÊS DE ARAUJO**

Doutorando PPGA-UFG/ Docente e Pesquisador da Universidade Estadual de Goiás /  
Engenharia Civil - Campus Anápolis (GO)  
alexandregarces@gmail.com

**JAQUELINE COSTA DE SOUZA**

Discente da Universidade Estadual de Goiás/Engenharia Civil-Campus Anápolis (GO)  
jaquelinecosta575@gmail.com

**EDER CHAVEIRO ALVES**

Doutorando PPGA-UFG/ Docente e Pesquisador da Universidade Estadual de Goiás /  
Engenharia Civil - Campus Anápolis (GO)  
ederchaveiro@yahoo.com.br

**ISABELA LARISSA ALVES SILVA**

Discente da Universidade Estadual de Goiás/Engenharia Civil-Campus Anápolis (GO)  
isabelarissa027@hotmail.com

**VLADIA CORRECHEL**

Doutora pela USP/Docente e pesquisadora do PPGA-UFG – Escola de Agronomia  
vladiacorrechel@hotmail.com

**Resumo:** A curva característica solo água é uma importante propriedade do solo que permite análises hidráulicas, granulométricas e demais propriedades relacionadas ao arranjo estrutural. O ajuste da curva é necessário para obtenção de parâmetros que permitem sua aplicação nas diversas soluções geotécnicas, agrárias e ambientais (i.e valor de entrada de ar, saturação residual etc). Na literatura, existem vários modelos de ajustes, cada um com seus parâmetros e variáveis apropriadas para o tipo de solo e comportamento que lhe deram origem. A maioria desses modelos foram desenvolvidos baseados em solos formados em regiões de clima temperado e, portanto, não resultam em bom ajuste para solos de regiões tropicais, especialmente os com alto grau de intemperismo. Para este estudo foram utilizados dois solos tropicais localizados em duas distintas regiões do Brasil, Goiás e Santa Catarina. Por meio da realização de ensaios de laboratório para caracterização e determinação da curva característica solo água, os solos tiveram seus comportamentos comparados. As curvas características foram obtidas por meio do ensaio de papel filtro realizado por dois autores, Feuerharmel (2007) - solo de Santa Catarina - e Araujo (2010) - solo de Goiás. A partir desses ensaios, observou-se que as curvas obtidas possuem comportamento bimodal no qual o primeiro trecho é definido pelos macroporos, em seguida verifica-se a existência de um patamar e, por fim, o terceiro trecho é definido pelos microporos. Esse tipo de comportamento é muito comum em solos tropicais altamente intemperizados. Na aplicação de três modelos de ajustes verificou-se que apenas um, desenvolvido para solos tropicais, mostrou bom resultado permitindo a obtenção de parâmetros que definem o comportamento hidráulico do solo, tais como valor de entrada de ar e saturação residual dos macro e microporos.

**Palavras-chave:** Comportamento hidráulico. Comportamento Bimodal. Ensaio Papel Filtro. Valor de entrada de ar.

**Abstract:** The characteristic curve soil water is an important property of the soil that allows hydraulic analyzes, particle-size analysis and other properties related to the structural arrangement. The curve adjustment is necessary for obtaining parameters that allow your application in the various geotechnical, agrarian and

environmental solutions (t.i. air entrance value, residual saturation etc). In the literature, there are several adjustment models, each one with its parameters and variables appropriate for the type of soil and behavior which gave it origin. Most of these models were developed based on soils formed in temperate regions and therefore do not result in good adjustment for soils of tropical regions, especially those with high degree of weathering. Two tropical soils located in two different regions of Brazil, Goiás and Santa Catarina were used for this study. Through the laboratory tests to characterize and determine the characteristic curve soil water, the soils had their behavior compared. The characteristic curves were obtained by means of the filter paper test performed by two authors, Feuerharmel (2007) - Santa Catarina soil - and Araujo (2010) - Goiás soil. From these tests, it was observed that the obtained curves have bimodal behavior in which the first stretch is defined by the macropores, then it is verified the existence of a plateau and, finally, the third stretch is defined by the micropores. This type of behavior is very common in tropical soils highly weathered. The application of three adjustment models, Brooks and Corey (1964), Van Genuchten (1980) and Gitirana Jr. and Fredlund (2004), showed that only the last one, developed for tropical soils, resulted in a good adjustment allowing the obtaining of a parameter which define the hydraulic behavior of the soil, such as air entrance value and residual saturation of macro and micropores.

**Keywords:** Hydraulic Behavior. Bimodal Behavior. Filter Paper Test. Air entry value.

## **1. INTRODUÇÃO**

Solos tropicais normalmente ocorrem em regiões climáticas tropicais e úmidas e apresentam características bastante peculiares, decorrente principalmente da atuação de processos geológicos e pedológicos típicos dessas regiões (SANTOS; PARREIRA, 2015). De acordo com Franzoi (1990) esses processos são marcados principalmente pelo intemperismo avançado, que resulta em agregação de partículas, geralmente por cimentação. Com isso, em função da frequente agregação das partículas dos solos tropicais, desenvolve-se nesses solos um comportamento em dois estágios definidos pela macro e micro estrutura, chamado de comportamento bimodal, que consiste basicamente em solos que apresentam duas classes de poros contrastantes. Para isso, a curva característica solo água é bastante eficaz para representar este comportamento típico de solos tropicais (FEUERHARMEL; GEHLING; BICA, 2006).

A relação entre a quantidade de água e a sucção de um solo define a curva característica ou de retenção de água (WILLIAMS, 1982 apud FREDLUND; XING, 1994). A quantidade de água nos poros do solo é comumente representada utilizando a umidade gravimétrica, que é a razão entre a massa de água e a massa de sólidos, ou o grau de saturação, que indica a porcentagem de vazios que estão preenchidos com água. Enquanto que a sucção do solo pode ser matricial ou total (sucção matricial mais a sucção osmótica) (FREDLUND; WILSON; FREDLUND, 2002).

Uma curva característica típica apresenta, normalmente, a representação de dois importantes valores: a pressão de entrada de ar (ou valor de entrada de ar) e o teor de umidade residual. De acordo com Fredlund e Xing (1994), a pressão de entrada de ar é a sucção crítica

capaz de fazer com que a água presente no maior vazio comece a sair do solo na condição saturada, sendo que à medida que esta sucção aumente de forma gradual, os vazios com diâmetros menores também começam a se esvaziarem, até que para altos valores de sucção, somente os vazios muito pequenos ainda reterão água. Além disso, o ponto da curva, localizado no limite inferior, a partir do qual qualquer aumento na sucção mátrica afeta de forma insignificativa os valores de umidade, é definido como teor de umidade residual.

A partir de ensaios de laboratório é possível obter vários dados para a curva característica solo água. Esses dados podem gerar funções matemáticas, que são importantes para representação gráfica ou modelagem numérica da curva. Existem muitos modelos matemáticos propostos na literatura para se realizar o ajuste da curva característica (GITIRANA JR.; FREDLUND, 2004). Esses modelos foram definidos por meio de parâmetros variáveis relacionados com a curva característica (SILLERS; FREDLUND; ZAKERZADEH, 2001).

Brooks e Corey (1964) sugeriram uma das primeiras equações de ajuste para a curva característica, a qual continua sendo um modelo ainda bastante utilizado. A equação é constante para sucções inferiores ao valor de entrada de ar e é assumida como uma função exponencial decrescente para sucções maiores do que o valor de entrada de ar, como pode ser verificado na Equação 1. Os parâmetros de ajustes utilizados são o valor de entrada de ar (parâmetro  $a$ ) e o índice do tamanho dos poros (parâmetro  $n$ ).

$$S = 1 \quad \psi < a \quad (\text{Equação 1})$$

$$S = \left(\frac{\psi}{a}\right)^{-n} \quad \psi > a$$

Van Genuchten (1980) apresentou ainda uma equação contínua que define a curva característica por meio de três parâmetros de ajuste: o valor de entrada de ar (parâmetro  $a$ ), a distribuição dos poros (parâmetro  $n$ ) e um parâmetro de assimetria (parâmetro  $m$ ), como apresentado na Equação 2.

$$S = \frac{1}{[1+(a\psi)^n]^m} \quad (\text{Equação 2})$$

No entanto, os modelos apresentados foram desenvolvidos considerando solos formados em clima temperado e que, portanto, apresentam comportamento unimodal. Dos vários modelos de ajuste para a curva característica solo água, poucos representam solos com comportamento bimodal, como no caso dos solos tropicais com alto grau de intemperismo. A equação proposta por Gitirana Jr. e Fredlund (2004) é uma das mais conhecidas para solo com

esse comportamento. Considerando que a maioria das equações utilizam parâmetros interdependentes e que não correspondem a propriedades do solo ou às características geométricas da curva, Gitirana Jr. e Fredlund (2004) propuseram uma nova classe de equações para representar curvas tanto unimodais, quanto bimodais, ajustada para dados de vários tipos de solos. Os parâmetros de ajuste escolhidos foram o valor de entrada de ar, a sucção residual, o grau de saturação residual e um parâmetro que controla a suavidade da curvatura. Além disso, essa equação pode ser utilizada para representar tanto a trajetória de secagem como a de umedecimento, conforme apresentada na Equação 3.

$$S = \frac{S_1 - S_2}{1 + (\psi / \sqrt{\psi_{b1} \cdot \psi_{res1}})^{d1}} + \frac{S_2 - S_3}{1 + (\psi / \sqrt{\psi_{res1} \cdot \psi_{b2}})^{d2}} \cdot \frac{S_1 - S_2}{1 + (\psi / \sqrt{\psi_{b2} \cdot \psi_{res2}})^{d3}} + S_4 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde S é o grau de saturação;  $\psi$  a sucção matricial;  $\psi_{res}$  a sucção residual e  $\psi_b$  o valor de entrada de ar.

Com isso, o objetivo desse artigo é verificar a aplicabilidade de modelos de ajustes propostos na literatura geotécnica que se adequam aos solos tropicais que possuam características bimodais, geralmente presentes em solos com alto grau de intemperismo, visto que a maioria dos estudos de curvas características publicados é para solos temperados, e portanto, os modelos de ajustes desenvolvidos são restritos as características estruturais desse tipo de solo.

53

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 SOLOS OBJETOS DE ESTUDO

Os solos analisados nesse artigo se encontram em dois campos experimentais diferentes. O primeiro é um solo caracterizado como Latossolo Vermelho, estudado por Araujo (2010) e localizado na região sudoeste da cidade de Goiânia (GO), área que atualmente é alvo de grandes empreendimentos residenciais motivados por recentes implantações de infraestruturas. A área em questão faz parte do setor Jardim Atlântico tendo como confrontante o centro de treinamento do Goiás Esporte Clube. As coordenadas geográficas do ponto são 16°43'35,29" e 49°17'43,26" e trata-se de um local com topografia uniforme, inclinação de 7%, margeada no fundo pelo córrego cascavel (ARAUJO, 2010).

O segundo solo analisado situa-se na região dos Aparados da Serra localizada na divisa dos municípios de Timbé do Sul (SC) e São José dos Ausentes (RS). Este solo foi

altamente estudado por Feuerharmel (2007) e é considerado pela mesma como um colúvio provavelmente oriundo do intemperismo e erosão de uma camada de arenito intertrapp, classificado pedologicamente como um Argissolo Vermelho Amarelo.



Figura 1 - (a) Solo Latossolo Vermelho em campo experimental estudado por Araujo (2010); (b) Perfil do solo Argissolo Vermelho Amarelo estudado por Feuerharmel (2007).

Portanto, a escolha desses dois solos nesse estudo, mesmo sendo de regiões distantes com climas diferenciados, justifica-se devido a caracterização pedológica, ambos altamente intemperizados e, portanto, com comportamento bimodal e o método semelhante de obtenção da curva característica solo água.

## 2.2 RETIRADA DE AMOSTRAS

Foram retiradas amostras indeformadas por ambos os autores seguindo as recomendações da NBR 9604/86 (ABNT, 1986). Também foram retiradas amostras deformadas para os ensaios de caracterização, sendo todas as amostras condicionadas adequadamente imediatamente após a retirada, mantendo assim as condições de campo.

As amostras deformadas foram acondicionadas em sacos plásticos e fechadas para evitar perda de umidade. As amostras indeformadas foram parafinadas, envolvidas com tecido e parafinadas novamente. Os blocos foram acondicionados em caixas de madeira preenchidas com serragem e folhas de vegetação (capim) para evitar perturbação durante o transporte. No laboratório as amostras foram guardadas em local úmido até a sua utilização.

### **2.3 DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA**

A determinação da curva característica solo água para as amostras de solo analisadas foi realizada seguindo o método do Papel Filtro, tanto por Araujo (2010), quanto por Feuerharmel (2007), enquanto que a segunda autora utilizou ainda o método da Placa de Sucção para baixos valores de sucção.

O método do papel filtro consiste basicamente em atingir o equilíbrio de sucção, total ou matricial, do solo em estudo com o papel filtro, cuja curva de calibração já foi previamente determinada. Este ensaio possibilita a obtenção de uma grande variação de sucção no solo, desde sucções muito baixas a sucções muito altas.

Para isso, as amostras para a realização deste ensaio foram moldadas diretamente do bloco de amostra indeformada em anéis com dimensões padronizadas por cada autor. Para cada pastilha moldada, o excesso de solo foi levado à estufa para medição de umidade. As pastilhas foram identificadas e armazenadas em sacos plásticos fechados hermeticamente, até o início do ensaio, sendo as pastilhas inicialmente secas ao ar. A umidade correspondente ao grau de saturação de 100% foi calculada e então definida a variação de umidade a ser submetida no solo.

55

O papel filtro foi colocado entre duas pastilhas de solo que já estavam com as umidades pretendidas. O conjunto solo - papel filtro - solo foi embalado em papel filme, papel alumínio e colocado em um recipiente hermeticamente fechado, e este colocado em uma caixa de isopor e assim mantido durante o período de equilíbrio. Após o equilíbrio, o papel filtro foi retirado e rapidamente pesado. Em seguida o papel foi colocado em cápsulas e levado a estufa. Com o peso seco e peso úmido, a umidade do papel foi determinada, e através da curva de calibração, obteve-se a sucção correspondente, considerada a mesma da amostra de solo. Com a sucção e a umidade correspondente do solo, obteve-se um ponto na curva característica.

### **2.4 APLICAÇÃO DOS MODELOS DE AJUSTES**

Existem diversas equações de ajuste propostas na literatura geotécnica para a curva característica. Araujo (2010) e Feuerharmel (2007) optaram por utilizar equações que consideram uma maior quantidade de parâmetros para ajuste e verificar se essas são adequadas para solos com comportamento bimodal. Neste caso, optou-se por ajustar as curvas utilizando a equação de Gitirana Jr. e Fredlund (2004). Contudo, verificou-se relevante ainda

aplicar as equações propostas por Brooks e Corey (1964) e Van Genuchten (1980), mesmo esses modelos terem sido desenvolvidos para solos com comportamento unimodal, já que a literatura geotécnica propõe que esses modelos são eficientes para ajustar pelo menos o primeiro trecho de dessaturação da curva característica.

Com isso, as equações de ajustes propostas por esses autores foram aplicadas aos dados obtidos experimentalmente, levando-se em consideração as variáveis de ajuste para a curva propostas em cada modelo, onde a primeira estimativa para o valor de entrada de ar e a sucção residual dos macroporos ( $\psi_{b1}$  e  $\psi_{res1}$ ) e dos microporos ( $\psi_{b2}$  e  $\psi_{res2}$ ) foi determinada graficamente.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi analisado como as equações de ajuste de Brooks e Corey (1964) e Van Genuchten (1980) se aplicam ao tipo de solo, já que o mesmo se trata de um solo tropical com comportamento típico bimodal e os modelos desenvolvidos por esses autores são baseados em solos unimodais. Os resultados foram representados pela sucção versus conteúdo volumétrico da amostra.

56

Os resultados indicados experimentalmente, e as curvas de ajuste obtidas através dos modelos de ajuste de Brooks e Corey (1964) e Van Genuchten (1980) são apresentados na Figura 2, de forma a evidenciar que, por se tratarem de equações desenvolvidas com base em dados de solos de clima temperado, estas não coincidem com os dados experimentais obtidos, pois estes foram determinados para solos tropicais com alto grau de intemperização. Assim, o comportamento bimodal visto em solos tropicais não se verifica quando comparados aos resultados dos ajustes obtidos através desses autores.

A curva obtida experimentalmente, bem como a determinada pelo modelo de ajuste de Gitirana Jr. e Fredlund (2004) aplicado por Araujo (2010) também são apresentadas na Figura 2. As curvas são do formato bimodal indicando presença de micro e macroporos. Este tipo de distribuição de poros é causado por granulometrias descontínuas ou pela estruturação de solos intemperizados. Os macroporos têm um valor de entrada de ar entre 2.5 e 4.0 kPa, enquanto os microporos entre 7000 e 10500 kPa (ARAUJO, 2010).

Além disso, pode-se observar também que entre as duas partes da curva tem-se um patamar que indica a ausência de poros em uma grande faixa de tamanhos. A posição do patamar indica o volume de macroporos presentes na estrutura do solo.

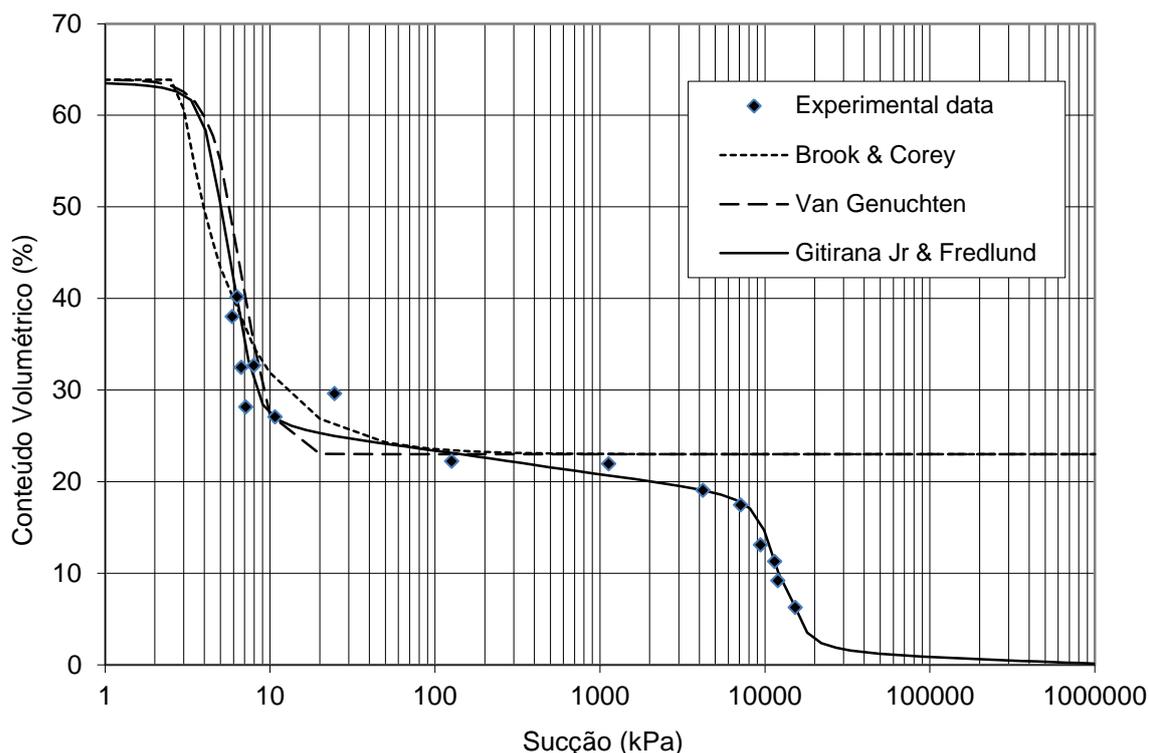


Figura 2 - Curvas características para um Latossolo Vermelho com os valores experimentais e os modelo de ajuste de Brooks e Corey (1964), Van Genuchten (1980) e Gitirana Jr. e Fredlund (2004) (ARAUJO, 2010).

57 Os parâmetros utilizados para o ajuste da curva apresentada acima do modelo proposto por Gitirana Jr. e Fredlund (2004), são indicados no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros de ajuste utilizados para as curvas características (ARAUJO, 2010).

	b1 (kPa)	res1 (kPa)	Sres1 (%)	b1 (kPa)	Sb (%)	res1 (kPa)	Sres2 (%)	a	$\lambda_1$	$\lambda_2$
1,00	3,50	11	35	7.000	27,00	14000	1,50	0,07	4,76	0,31
2,00	4,00	08	40	10.500	29,50	15000	1,60	0,08	7,50	0,21
3,00	2,50	08	44	7.500	29,50	11000	1,60	0,08	6,00	0,17

Feuerharmel (2007) determinou a curva característica solo água seguindo trajetórias de umedecimento e de secagem e as mesmas foram expressas pela sucção do solo versus grau de saturação. Foram utilizados para obtenção dessas curvas a técnica do papel filtro, para sucções entre 5 kPa e 30.000 kPa e o método da placa de sucção, para sucções inferiores à 5kPa. A combinação dessas técnicas foi particularmente importante para definição do comportamento de dessaturação das amostras indeformadas do Argissolo Vermelho Amarelo

estudado por esta autora.

Para o solo estudado por Feuerharmel (2007) também utilizou-se as equações propostas por Brooks e Corey (1964), Van Genuchten (1980) e Gitirana Jr. e Fredlund (2004) no ajuste da curva característica determinada experimentalmente, sendo a primeira estimativa para o valor de entrada de ar e a sucção residual dos macroporos ( $\psi_{b1}$  e  $\psi_{res1}$ ) e dos microporos ( $\psi_{b2}$  e  $\psi_{res2}$ ) obtida graficamente. O modelo proposto por Gitirana Jr. e Fredlund (2004) forneceu um bom ajuste para os dados experimentais, pelos mesmos motivos já citados, e permitiram uma melhor visualização do comportamento de dessaturação dos solos coluvionares estudados, em diferentes trajetórias de secagem e umedecimento (FEUERHARMEL, 2007). Os parâmetros utilizados para o ajuste das curvas determinadas para o modelo de Gitirana Jr. e Fredlund (2004) são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros utilizados para ajuste matemático das curvas do solo analisado (FEUERHARMEL, 2007).

Solo	b1 (kPa)	Sb1	res1 (kPa)	Sres1	b2 (kPa)	Sb2	res2 (kPa)	Sres2	A
Indeformado S1	2,50	1,00	7,0	0,78	2.200	0,73	37.000	0,09	0,048
Indeformado U1	2,00	0,90	12,0	0,52	2.600	0,42	40.000	0,06	0,049

Na Figura 3 são apresentadas as curvas obtidas em laboratório para amostras indeformadas e as curvas determinadas pelos modelos de ajuste de Brooks e Corey (1964), Van Genuchten (1980) e Gitirana Jr. e Fredlund (2004), aplicados ao solo analisado por Feuerharmel (2007).

Observou-se que o solo indeformado analisado por Feuerharmel (2007) apresenta um índice de vazios de 0,99, primeiro valor de entrada de ar em torno de 2,2 kPa e o segundo valor de entrada de ar de aproximadamente 2.100 kPa, analisando o modelo de ajuste de Gitirana Jr. e Fredlund (2004) (FEUERHARMEL, 2007). Com isso, vale ressaltar que esses valores de entrada de ar obtidos graficamente, são bastante próximos daqueles fornecidos pelo ajuste matemático proposto por Gitirana Jr. e Fredlund (2004).

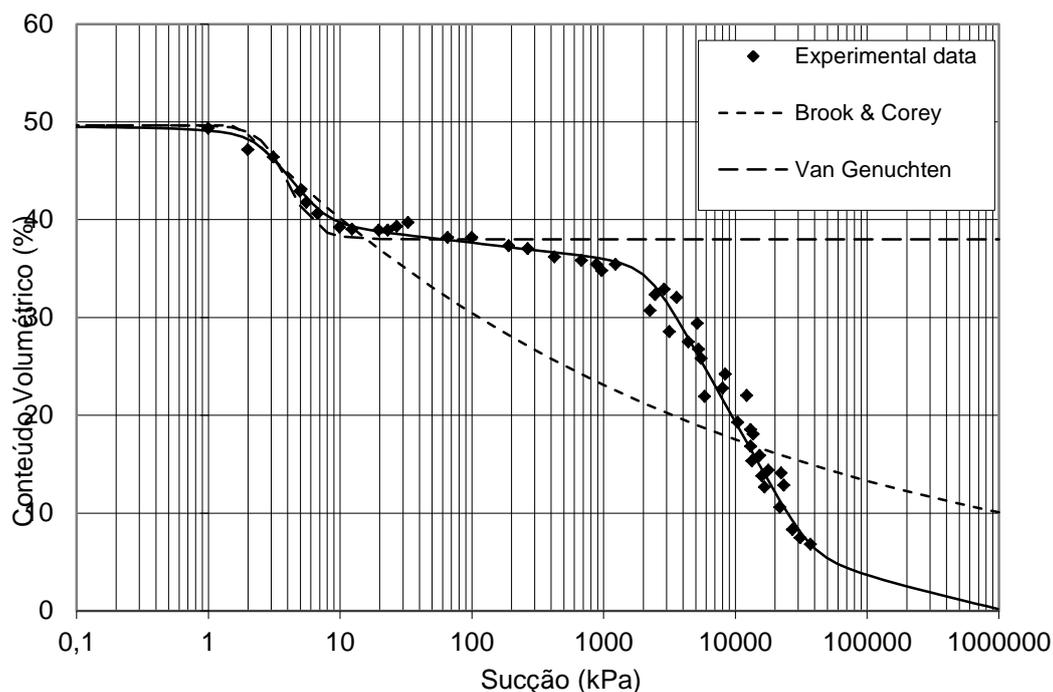


Figura 3 - Curvas características para um Argissolo Vermelho Amarelo com os valores experimentais e o modelo de ajuste de Brooks e Corey (1964), Van Genuchten (1980) e Gitirana Jr. e Fredlund (2004).

59

As curvas características apresentadas para os solos analisados exibem um formato bimodal ou duplo “S”, caracterizado pela existência de dois valores de entrada de ar e um patamar intermediário. Este patamar quase horizontal está relacionado provavelmente à ausência de poros com tamanho intermediário nesse solo. Geralmente, o solo que apresenta distribuição granulométrica bimodal também apresentará curva característica solo água bimodal, pois de acordo com a teoria da capilaridade, a curva bimodal está relacionada com a distribuição bimodal dos poros (SATYANAGA et al, 2013).

#### 4. CONCLUSÃO

Os solos estudados por Araujo (2010) e por Feuerharmel (2007) apresentaram características e propriedades típicas de solos tropicais com intenso grau de intemperismo e presença de agentes cimentantes que agregam as partículas, alterando a estrutura do solo com o surgimento de macro estrutura porosa, principalmente para o Latossolo Vermelho analisado por Araujo (2010), que apresentou um alto índice de vazios.

As curvas características solo água determinadas pelo modelo de ajuste proposto por Gitirana Jr. e Fredlund (2004) apresentaram formato bimodal com valor de entrada de ar nos macroporos variando entre 2,5 e 4,0 kPa e dos microporos variando entre 7.500 e 10.500 kPa

para o solo analisado por Araujo (2010). Enquanto que para o Argissolo Vermelho Amarelo estudado por Feuerharmel (2007) o valor de entrada de ar nos macroporos variou entre aproximadamente 2,2 kPa e dos microporos em torno de 2.100 kPa. Com isso, observou-se ainda que os macro e microporos foram separados por um patamar que indica a ausência de poros em uma grande faixa de tamanhos.

O ajuste da curva característica utilizando a equação de Gitirana Jr. e Fredlund (2004) mostrou-se adequado para os dados experimentais das curvas características bimodais, permitindo uma melhor visualização dos resultados, considerando o comportamento de dessaturação destes solos. Enquanto que os modelos de Brooks e Corey (1964) e Van Genutchen (1980) se mostraram não satisfatórios considerando toda a curva de retenção de água, uma vez que as equações propostas por esses autores baseiam-se em solos de clima temperado, e que portanto, apresentam comportamento unimodal, em contraposição aos solos analisados neste estudo.

## **5. REFERÊNCIAS**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 9p, 1986.

ARAUJO, A. G. D. **Análise do desempenho de poços de infiltração na cidade de Goiânia-GO**. 2010. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic properties of porous media. **Hidrology Papers**, Fort Collins, v. 3, n. 3, mar. 1964. 27 p.

FEUERHARMEL, C. **Estudo da resistência ao cisalhamento e da condutividade hidráulica de solos coluvionares não saturados da Formação Serra Geral**. 2007. 329 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia na modalidade Acadêmico) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FEUERHARMEL, C.; GEHLING, W. Y. Y.; BICA, A. V. D. The use of filter-paper and suction-plate methods for determining the soil-water characteristic curve of undisturbed colluvium soils. **Geotechnical Testing Journal**, West Conshohocken, v. 29, n. 5, 2006. p. 419-425.

FRANZOI, S. **Algumas particularidades resilientes de solos lateríticos e saprolíticos**. 1990. 139 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

FREDLUND, D. G.; XING, A. Equations for the Soil-Water Characteristic Curve. **Canadian**

**Geotechnical Journal**, v. 31, p. 521-532, 1994.

FREDLUND, M. D.; WILSON, G. W.; FREDLUND, D. G. Use of the grain-size distribution for estimation of the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 39, p. 1103–1117, 2002.

GITIRANA JR., G. F. N.; FREDLUND, D. G. Soil-water characteristic curve equation with independent properties. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Reston, v. 130, n. 2, fev. 2004. p. 209-212.

SANTOS, E. F. D.; PARREIRA, A. B. Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais. In: 44ª RAPV - REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 18º ENACOR - ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2015, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, ago. 2015. 12 p.

SATYANAGA, A; RAHARDJO, H.; LEONG, E.; WANG, J. Water characteristic curve of soil with bimodal grain-size distribution. In: Computers and Geotechnics. V. 48. 2013. P. 51-61.

SILLERS, W. S.; FREDLUND, D. G.; ZAKERZADEH, N. Mathematical attributes of some soil-water characteristic curve models. In: D. G. TOLL. UNSATURATED SOIL CONCEPTS AND THEIR APPLICATION IN GEOTECHNICAL PRACTICE, 2001, Dordrecht. **Anais...** 1. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America journal**, Madison, v. 44, n. 5, abr. 1980. p. 892-898.

WILLIAMS, P. J. The surface of the earth, an introduction to geotechnical science. 1982. In: FREDLUND, D. G.; XING, A. Equations for the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 31, p. 521–532, 1994.