

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

HYBRAS

HYDROPHYSICAL DATABASE FOR BRAZILIAN SOILS

Banco de Dados Hidrofísicos em Solos no Brasil
para o Desenvolvimento de Funções
de Pedotransferências de Propriedades Hidráulicas

- Versão 1.0 -

Relatório Parcial do Projeto Estudos
de Caracterização Hidrológica dos Solos

2018



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTRO DE ESTADO

Fernando Coelho Filho

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Paulo Pedrosa

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Vicente Humberto Lôbo Cruz

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS / SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Otto Bittencourt Netto

Vice-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Conselheiros

Paulo Cesar Abrão

Cassiano De Souza Alves

Cássio Roberto da Silva

Elmer Prata Salomão

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti (interino)

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Esteves Pedro Colnago (interino)

Diretor de Administração e Finanças

Juliano de Souza Oliveira (interino)

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM

HYBRAS

HYDROPHYSICAL DATABASE FOR BRAZILIAN SOILS

Banco de Dados Hidrofísicos em Solos no Brasil
para o Desenvolvimento de Funções
de Pedotransferências de Propriedades Hidráulicas

- Versão 1.0 -

Relatório Parcial do Projeto Estudos
de Caracterização Hidrológica dos Solos

Organizado por
Marta Vasconcelos Ottoni



RIO DE JANEIRO
Janeiro, 2018

CRÉDITOS TÉCNICOS

Departamento de Hidrologia – DEHID

Frederico Cláudio Peixinho

Coordenação

Marta Vasconcelos Ottoni

APOIO

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – DRHIMA

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

University of Arizona, Tucson, EUA

Marcel G. Schaap

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental

Maria Leonor R. C. Lopes-Assad

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE)

Otto Corrêa Rotunno Filho

Departamento de Apoio Técnico – DEPAT

Urquiza de Hollanda

Divisão de Editoração Gráfica – DIEDIG

Valter Alvarenga Barradas

Diagramação

Agmar Alves Lopes

Irene Cristina Corrêa Reis

Logomarca (arte gráfica)

Pablo Nieto Campos

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DIDOTE – Processamento Técnico

Ottoni, Marta Vasconcelos

HYBRAS hydrophysical database for Brazilian soils : banco de dados hidrofísicos em solos no Brasil para o desenvolvimento de funções de pedotransferências de propriedades hidráulicas : versão 1.0 : relatório / Organizado por Marta Vasconcelos Ottoni. – Rio de Janeiro: CPRM, 2018.

27 p. 30 cm

ISBN: 978-85-7499-370-6

1.Solos – Brasil. 2.Solos – Absorsão. 3.Banco de dados. I. Título.

CDD 631.4

RESUMO

M.V. Ottoni, T.B. Ottoni Filho, M.G. Schaap, M.L.R.C. Lopes-Assad, O.C. Rotunno Filho, 2018. HYBRAS: hydrophysical database for brazilian soils – banco de dados hidrofísicos em solos no Brasil para o desenvolvimento de funções de pedotransferência de propriedades hidráulicas: relatório parcial do projeto Estudos de Caracterização Hidrológica dos Solos, Rio de Janeiro, CPRM.

Dados de retenção de água nos solos são fundamentais nos estudos de modelagem em solos e o uso de funções de pedotransferência (PTFs) pode suprir a demanda por essas informações. No Brasil, não se dispõe de uma base organizada de dados físico-hídricos sendo comum o uso de PTFs de clima temperado na estimativa de retenção hídrica em solos brasileiros. O objetivo deste trabalho foi propor um banco de dados físico-hídricos para solos do Brasil (HYBRAS) para o desenvolvimento de PTFs. Os dados presentes no HYBRAS compreendem 445 locais (ou perfis de solo) com 1075 amostras, parcialmente georreferenciadas, e representativas de uma ampla gama de solos tropicais brasileiros. Os dados estão organizados em uma estrutura relacional de tabelas que cobrem descrições gerais do site, cobertura do solo, os procedimentos físicos e químicos utilizados para coletar os dados de campo e laboratoriais. Os dados brutos (por exemplo, frações granulométricas e pontos de retenção que cobrem o intervalo de sucção de 0-15000 cm) e dados derivados são incluídos nas tabelas. Por exemplo, os parâmetros ajustados da equação popular van Genuchten para retenção de água foram incluídos para facilitar a utilidade do banco de dados. Espera-se a inclusão de novos dados, quando disponíveis, no HYBRAS, em especial, as medições de condutividade hidráulica não saturada. Recomenda-se uma análise de dados do HYBRAS mais refinada para o desenvolvimento de futuras PTFs em solos brasileiros. O desenvolvimento do HYBRAS faz parte do escopo de atividades do projeto institucional “Estudos de Caracterização Hidrológica dos Solos” desenvolvido e financiado pelo Departamento de Hidrologia do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Keywords: retenção de água, solos tropicais, banco de dados de solos.

SUMÁRIO

Prefácio	1
Introdução.....	2
Estrutura da base de dados	4
Coletânea e descrição dos dados	6
Dados hidrofísicos do solo.....	11
Parâmetros do modelo de VG e seus desempenhos na estimativa dos dados de retenção de água	15

PREFÁCIO

O presente estudo se insere no contexto de um projeto institucional do Departamento de Hidrologia do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) intitulado “Estudos de Caracterização Hidrológica dos Solos”. O apoio financeiro do projeto proveio de recursos do Ministério de Minas e Energia do governo federal do Brasil, ao qual o Serviço Geológico do Brasil está vinculado. Esse projeto teve início em 2011 e foi coordenado e executado pela pesquisadora Marta Vasconcelos Ottoni e contou com a colaboração da Universidade Federal do Rio de Janeiro, da Universidade Federal de São Carlos e com o apoio do pesquisador Dr. Marcel Schaap da Universidade do Arizona.

Diversos pesquisadores, estudantes e cientistas da área de solos foram contatados para contribuir nesse projeto. Ampla pesquisa de trabalhos científicos que realizaram levantamento de atributos do solo no país também foi efetuada, seja em anais de eventos, jornais científicos e/ou em dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Essa iniciativa foi apresentada em diversos eventos: 2nd *Brazilian Soil Physics Meeting* em 2013 no Rio de Janeiro, RJ, no 20th *World Congress of Soil Science* em 2014 na Coreia do Sul e no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo em 2017, Belém, PA.

Dois trabalhos científicos foram publicados sobre esse estudo:

Ottoni, M.V., M.L.L. Assad, Y. Pachepsky, and O.C. Rotunno Filho. 2014. A hydrophysical database to develop pedotransfer functions for Brazilian soils: Challenges and perspectives. In: W.G. Teixeira, M.B. Ceddia, M.V. Ottoni, and G.K. Donnagema, editors, *Application of soil physics in environmental analyses: Measuring, modelling and data integration*. 1st ed. Springer, Cham, Switzerland. p. 467–494. doi: 10.1007/978-3-319-06013-2.

Ottoni, M.V, Ottoni Filho, T.B., Schaap M.G., Lopes-Assad, M.L.R.C., Rotunno Filho, O.C., 2018, HYdrophysical database for BRAzilianSoils (HYBRAS) and Pedotransfer Functions for Water Retention (aceito em 20/08/2017 pela revista *Vadose Zone Journal*).

Este trabalho também fez parte da tese de doutorado da coordenadora do projeto (Ottoni, 2017).

O estabelecimento de um banco de dados com medições de propriedades hidráulicas em solos brasileiros (HYBRAS) é uma primeira contribuição na tentativa de suprir a carência de dados hidráulicos do solo de entrada para modelos de simulação. Esse projeto de banco de dados não se encontra completo e espera-se que outras versões do HYBRAS sejam editadas com inclusão de mais dados quando disponíveis.

O presente relatório não contém a descrição detalhada da estrutura do banco de dados, sendo previsto o lançamento dessa informação em nota técnica específica.

INTRODUÇÃO

Dados de retenção de água no solo são fundamentais em estudos de modelagem em solos. Sua mensuração direta demanda elevados custos e laboriosos trabalhos de campo, tornando inviável sua execução para grandes áreas. Como resultado, tem crescido o desenvolvimento e emprego de funções de pedotransferências (PTFs) (Bouma, 1989) para predição de informações de retenção de água a partir de atributos de solos rotineiramente medidos e facilmente disponíveis.

O Brasil desempenha papel relevante na publicação de PTFs tropicais de retenção de água (Botula et al., 2014). Barros e De Jong van Lier (2014) fizeram extensa revisão sobre PTFs de retenção de água em solos brasileiros. Essas PTFs podem ser utilizadas para estimar água disponível a partir da predição da capacidade de campo e ponto de murcha e seu uso está usualmente restrito a um determinado tipo de solo ou região geográfica (Barros and De Jong van Lier, 2014). Conforme nosso conhecimento, com respaldo adicional segundo Barros e De Jong van Lier (2014), os estudos de Tomasella e Hodnett (1998), Tomasella et al. (2000), Tormena e Silva (2002), Tomasella et al. (2003), Mello et al. (2005), Fidalski e Tormena (2007), Silva et al. (2008), Fiorin (2008), Barros et al. (2013) e Medrado e Lima (2014) são as principais publicações voltadas ao desenvolvimento de PTFs de parâmetros da curva de retenção de água no Brasil, as chamadas PTFs paramétricas, que podem ser diretamente utilizadas por modelos matemáticos (Patil e Singh, 2016). As PTFs acima foram geradas para limitadas bases de dados e/ou específicas regiões geográficas, e/ou alguns de seus preditores não são facilmente acessíveis, como a umidade equivalente, utilizada em Tomasella et al. (2000, 2003). Como esses fatores limitam o uso das PTFs brasileiras paramétricas em estudos de modelagem em solos, PTFs de clima temperado são frequentemente utilizadas em solos brasileiros.

Uma das principais razões para avanços não muito expressivos na produção e no uso de PTFs no Brasil comparativamente à geração e ao emprego dessas funções em regiões temperadas reside no fato de ainda não estar disponível no país uma base organizada de dados físico-hídricos de solos (Barros e De Jong van Lier, 2014). O estudo de Ottoni et al. (2014) indica, no entanto, a viabilidade do desenvolvimento de um banco hidrofísico abrangente e representativo para solos brasileiros a partir do inventário de 52 publicações com informações disponíveis de propriedades físico-hídricas. Mais recentemente, foi lançado o Sistema de Informações de Solos Brasileiros, BDSOLOS¹, reunindo dados de perfis e amostras de solos, provenientes de todas as regiões do Brasil. As informações de mensurações de propriedades hídricas são, no entanto, praticamente inexistentes nesse banco de dados. Por exemplo, apenas 14 registros foram encontrados com informações de retenção de água em ampla faixa de sucção (0-15000 cm). Em solos de ambiente temperado, há alguns extensos bancos de dados físico-hídricos, tais como o Unsaturated Soil Hydraulic Database (UNSODA) (Nemes et al., 2001) e, mais recente, o European Hydropedological Data Inventory (EU-HYDI) (Tóth et al., 2015).

O uso indiscriminado das PTFs elaboradas para solos de clima temperado em solos de ambiente tropical pode induzir a que se produzam resultados inconsistentes e enganosos nos estudos de modelagem e

¹ http://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/consulta_publica.html

tomadas de decisão inadequadas ou incorretas (Botula et al., 2012). As PTFs de regiões temperadas podem não representar as funcionalidades hidráulicas típicas de solos de clima tropical, como o comportamento híbrido dos Latossolos, solos intemperizados com predomínio de argilas cauliniticas e minerais oxídicos (Tomasella e Hodnett, 2004). Além disso, as PTFs de regiões temperadas praticamente não cobrem a faixa de teores de argila usualmente presentes nos Latossolos de ambiente tropical (Tomasella e Hodnett, 2004). Hodnett e Tomasella (2002) e Minasny e Hatermink (2011) registram também outras diferenças relevantes entre os solos de clima tropical e temperado, como as que envolvem a sua densidade do solo e a capacidade de troca catiônica. Tomasella et al. (2000), Tomasella e Hodnett (2004), Reichert et al. (2009), Botula et al. (2012) e Nguyen et al. (2015) confirmam essas diferenças pelo desempenho superior das PTFs de solos de ambiente tropical em relação ao das PTFs de clima temperado na estimativa de algumas propriedades hídricas de seus solos tropicais. Manyame et al. (2007) comentam, por outro lado, que para solos de regiões tropicais de textura arenosa na Nigéria as PTFs de ambiente temperado podem ser usadas para modelar suas propriedades hidráulicas com razoável confiabilidade. Botula et al. (2012) destacam também a boa capacidade de predição das PTFs de ambientes temperado de Schaap et al. (2001) na estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha em solos africanos tropicais. Assim, a ampliação do conhecimento sobre as interfaces do comportamento físico-hídrico entre solos de clima tropical e temperado faz-se necessária, o que pode aumentar o entendimento das interações entre os processos pedogenéticos e hidráulicos, além de ajudar a esclarecer a abrangência de uso das PTFs.

Neste relatório é apresentado o HYBRAS (HYdrophysical database for BRAzilian Soils), um banco de dados físico-hídricos de solos para o Brasil, provendo informações hidrofísicas consistentes e de boa qualidade apropriadas para o desenvolvimento de PTFs e para uso por cientistas que trabalham em agricultura, preservação ambiental e em projetos de mudanças climáticas. A proposição do nome desse banco de dados na língua inglesa é para motivar seu uso além das fronteiras do território brasileiro.

O HYBRAS 1.0 (versão 1) buscou consolidar os dados de retenção de água e condutividade hidráulica saturada (K_s), associados aos atributos básicos de solo e aos métodos de determinação dessas propriedades. A inclusão de medições de condutividade hidráulica não saturada está prevista para uma versão futura. Prevê-se também o desenvolvimento de PTFs de propriedades hidráulicas utilizando as informações do HYBRAS.

Visando criar uma identidade visual do HYBRAS foi desenvolvida uma logomarca específica para esse banco de dados, conforme ilustrada abaixo, sendo composta por cores que fazem alusão ao solo e água.



ESTRUTURA DA BASE DE DADOS

O banco de dados do HYBRAS foi desenvolvido em Microsoft Access-2007®. A estrutura do banco de dados (Figura 1) baseou-se prioritariamente no Hydraulic Properties of European Soils (HYPRES) (Wösten et al., 1999) e parcialmente no UNSODA (Nemes et al., 2001). Os campos e as descrições das tabelas, assim como seus nomes, estão em inglês, embora o conteúdo dos registros esteja em português, pois a proposta é tornar o HYBRAS um banco de dados de amplo e irrestrito acesso.

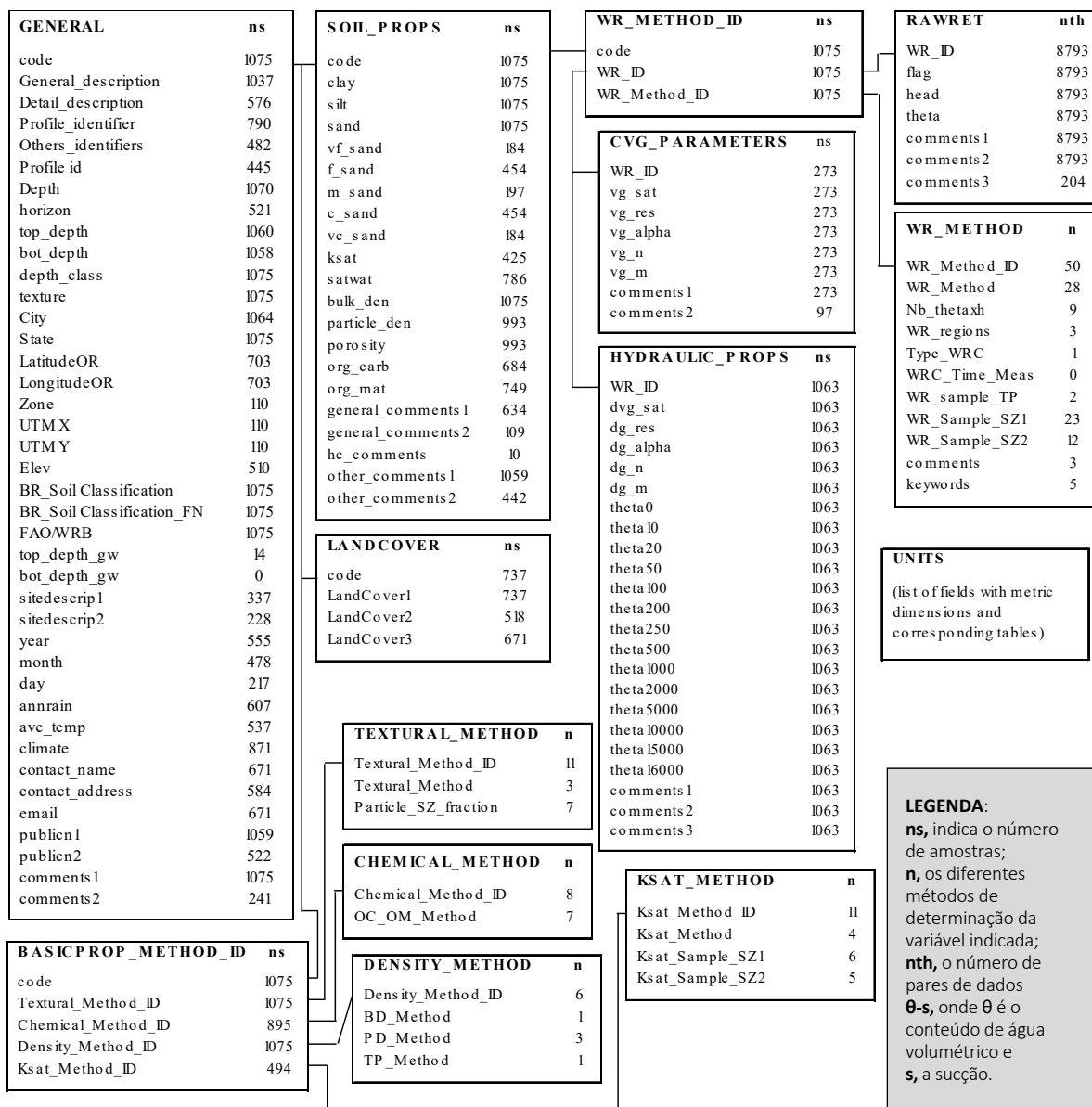


Figura 1: Relacionamento das tabelas do HYBRAS.

O HYBRAS possui atualmente 14 tabelas para armazenar os dados, cada uma contendo um conjunto de campos lógicos que podem estar relacionados. A codificação das amostras de solo é dada pelo campo “code”, presente em quase todas as tabelas do banco de dados, e por meio do qual as mesmas são usualmente conectadas. A esse campo são atribuídos valores numéricos inteiros. A estrutura de cada tabela e os nomes, tipo de dados e descrição de cada campo da tabela podem ser acessados pela abertura de uma tabela no modo Design. Todos os campos não preenchidos são representados pelo valor NULL, com exceção dos campos vazios das tabelas de descrição dos métodos de determinação de atributos dos solos, esses registrados com a sequência 999.

O corpo principal da base de dados é composto pela tabela GENERAL, onde estão referenciadas as informações gerais de cada amostra de solo (localização, classificação pedológica, descrição dos perfis de solo, etc). Atributos físicos das amostras encontram-se relacionados na tabela SOIL_PROPS, além da condutividade hidráulica saturada, umidade de saturação e porosidade total. A tabela LANDCOVER faz a descrição de classes de cobertura do solo, hierarquizadas em três níveis. O primeiro nível segue os critérios de classificação do primeiro nível categórico do sistema de classificação de uso e cobertura de solos do sistema europeu LUCAS-Land Use/Cover Area Frame Survey (European Commission, 2009). O segundo e terceiro níveis de hierarquização caracterizam, respectivamente, o tipo de cultivo e o tratamento experimental de amostragem do solo.

Os dados de conteúdo volumétrico de água (θ) para diferentes valores de sucção (s , estabelecido como positivo) são armazenados na tabela RAWRET. Os resultados dos parâmetros da equação de van Genuchten (VG) (van Genuchten, 1980) registrados na publicação de origem foram compilados na tabela CVG_PARAMETERS, juntamente com a metodologia de ajuste dos parâmetros. A tabela HYDRAULIC_PROPS agrupa os valores dos parâmetros de VG otimizados aos dados de retenção de água contidos em RAWRET, como também os respectivos θ calculados para valores de s pré-determinados e a metodologia de ajuste dos parâmetros. Os dados das três tabelas descritas neste parágrafo são identificados por códigos não numéricos descritos no campo “WR_ID”, o qual permite vinculação dos demais campos dessas três tabelas ao campo “code” (Figura 1). Embora HYBRAS não contenha medições da curva de condutividade hidráulica não saturada, ela pode ser grosseiramente estimada pelos parâmetros da curva de retenção de água e dados de K_s utilizando o modelo tradicional de Mualem-van Genuchten (van Genuchten, 1980).

As tabelas de métodos de determinação dos atributos e propriedades hidráulicas de solo são de dois tipos, um que agrupa os campos de códigos e o outro que reúne as descrições dos métodos de mensuração. As Tabelas BASICPROP_METHOD_ID e WR_METHOD_ID contêm os campos dos códigos, a primeira referente aos atributos básicos de solos e a segunda aos dados de retenção de água. As descrições dos métodos estão representadas nas tabelas KSAT_METHOD, TEXTURAL_METHOD, DENSITY_METHOD, CHEMICAL_METHOD, WR_METHOD. Os dados dessas cinco últimas tabelas são também identificados por um campo específico de códigos, nomeados com a terminação “Method_ID”, a partir do qual as tabelas BASICPROP_METHOD_ID e WR_METHOD_ID estão ligadas (Figura 1). Algumas tabelas auxiliares foram incluídas no HYBRAS. A tabela UNITS faz a declaração das unidades de medida dos campos numéricos presentes na base de dados. Duas tabelas adicionais “Example_Query1_general_information” e “Example_Query2_WRdata” foram inseridas para auxiliar no caso de necessidade de ser realizada pesquisa. Para fazer essa consulta, o usuário deve selecionar uma dessas tabelas de consulta no modo Design, inserindo ou excluindo, em seguida, os campos e tabelas de interesse. Ao fim da consulta, será exibido o resultado final da pesquisa no modo “Folha de Dados”.

COLETÂNEA E DESCRIÇÃO DOS DADOS

Diversos trabalhos foram pesquisados em publicações nacionais, como artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, trabalhos apresentados em congressos e simpósios de solos e boletins de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Foi utilizado o título do trabalho como referência de busca e quatro palavras chaves: condutividade hidráulica, físico-hídrico, banco de dados de solos e retenção de água. Os estudos que foram selecionados para avaliação da disponibilidade de dados hidrofísicos do solo foram aqueles que possuíam, no mínimo, medidas para pontos da curva de retenção de água no solo.

Foram avaliados aproximadamente 1100 trabalhos, dos quais apenas 163 trabalhos foram selecionados, todos com medições de curva de retenção de água, para análise de disponibilidade dos dados. A todos os autores das 163 publicações (em torno de 400 autores), foi encaminhada correspondência eletrônica solicitando a cessão para a CPRM de seus dados, incluindo as informações físicas, químicas, hídricas, dados gerais do local, com latitude e longitude, classe de solos e detalhes metodológicos dos experimentos.

Foram cedidas as bases de informações de cerca de 60 trabalhos, em formato digital, na forma de planilhas eletrônicas ou em material impresso, contabilizando em torno 9000 amostras com informações físico-hídricas.

As publicações escolhidas para composição do HYBRAS estão apresentadas na Tabela 1. A seleção das amostras de solos levou em consideração alguns critérios: serem amostras indeformadas e terem medições de pelo menos cinco pontos da curva de retenção numa larga faixa de sucção (0-15000cm), sendo essas medições realizadas por métodos onde a pressão de água e a umidade da amostra fossem diretamente mensuradas (como é o caso do método da placa porosa em câmara de pressão). Para garantir que os pontos da curva de retenção estivessem bem distribuídos ao longo da faixa de sucção, um ponto foi sempre para condições de saturação (a umidade de saturação ou a porosidade total); outros três pontos tinham que estar, respectivamente, nos seguintes intervalos de sucção: 30-80 cm, 250-500 cm e 9000-15000 cm; um quinto ponto, não deveria se incluir em nenhuma das faixas acima, não havendo restrições quanto à sucção dos demais pontos da curva. Além disso, os dados da amostra deveriam conter informações sobre os percentuais de areia, silte e argila e a densidade do solo.

Tabela 1: Relação das fontes bibliográficas dos solos do HYBRAS

Trabalhos	Estados	nst
Aguiar (2008)	Ceará, Minas Gerais	6
Andrade (1987)	Minas Gerais	5
Araujo Junior et al. (2011)	Minas Gerais	45
Azevedo (1976)	Minas Gerais	10
Barcelos (1996)	Rio Grande do Sul	9
Bhering (2007)	Rio de Janeiro	9
Carducci et al. (2011)	Goiás	10
Cintra e Libardi (1998)	Sergipe	5
Coelho et al. (2005a), Coelho et al. (2005b)	Amazonas	35
Base de dados Cooper‡	São Paulo	76
Costa e Libardi (1999), Costa (1986)	São Paulo	10
Costa (1993)	Rio Grande do Sul	23
Embrapa/FAO (1991)	Maranhão, Pará	62
Ferreira (2007)	São Paulo	55
Grego et al. (2011)	São Paulo	15
Leal (2011)	Rio de Janeiro	50
Lumbreiras (1996)	Maranhão	20
Macedo (1991)	Rio de Janeiro	45
Marques et al. (2010)	Amazonas	25
Moreira e Silva (1987)	Pernambuco	5
Nacif (1994), Nacif et al. (2008)	Bahia	20
Nebel et al. (2010), Parfitt (2009)	Rio Grande do Sul	100
Neuwald (2005)	Santa Catarina	75
Parfitt (2009)	Rio Grande do Sul	99
Rojas (1998)	Rio Grande do Sul	36
Scardua (1972)	São Paulo	12
Silva et al. (2005), Silva (2003)	Rio Grande do Sul	16
Souto Filho (2012)	Mato Grosso do Sul	12
Souza e Souza (2001)	Bahia	36
Base de dados Stone §	Goiás	88
Thurler (2000)	Espírito Santo, Rio de Janeiro	13
Toma (2012)	São Paulo	15
Vasconcellos (1993)	Rio Grande do Sul	33
Total		1075

† número de amostras de solos com dados de retenção de água

‡ dados cedidos por Miguel Cooper, da ESALQ, Universidade de São Paulo, Brasil

§ dados cedidos por Luis Fernando Stone, da EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Goiás, Brasil.

Segundo esses critérios, descartou-se um volume expressivo de amostras do montante inicialmente compilado (9000). A padronização dos dados de solos selecionados foi realizada segundo a estrutura proposta para o HYBRAS, a partir da qual os dados foram consistidos.

A consistência dos dados compreendeu as seguintes atividades:

- Checagem de medição inconsistente nos dados de retenção de água. Nesse caso, as medições de retenção de água de cada uma das amostras selecionadas foram plotadas no gráfico θ_{xs} , juntamente com a curva de retenção ajustada segundo o modelo de VG (vide seção Parâmetro do modelo de VG e seus desempenhos na estimativa dos dados de retenção de água). Nenhuma exclusão de pontos de retenção de água ou correção foi efetuada para as amostras do HYBRAS.
- Checagem da soma das frações granulométricas em 100%. Caso as frações de argila, silte e areia não somassem exatamente esse valor foi realizado ligeiro ajuste nos dados para que a soma contabilizasse 100%. Os valores originais dessas frações em caso de alterações foram registrados no campo *comments* da Tabela SOIL_PROPS.
- Verificação de valores discrepantes dos atributos densidade do solo, densidade das partículas, teor de matéria orgânica e condutividade hidráulica saturada (valores negativos ou inexistentes, ex: 9999) e realizada exclusão, quando da ocorrência.
- Avaliação da consistência da localização das amostras. Todas as amostras com informação de coordenada geográfica foram plotadas no mapa do território brasileiro utilizando o programa ArcGis e a base cartográfica de regiões brasileiras do IBGE (versão GIS). Foi verificada compatibilidade entre o município/estado informado na publicação de origem com aquele identificado pela plotagem dos pontos no GIS. Quando da inconsistência, as coordenadas foram corrigidas, levando-se em consideração como referência as coordenadas do centróide da área do município/estado descrito no trabalho de origem. Nesse caso, a coordenadas originais foram registradas no campo *comments* da tabela GENERAL do HYBRAS.
- As unidades de medida dos valores de sucção dos dados de retenção de água foram padronizadas para centímetro (cm). No campo *comments2* da tabela RAWRET é registrado o fator de conversão de unidades de sucção, quando utilizado. Essa conversão de unidade também foi efetuada para as medições de teor de matéria orgânica ou teor de carbono orgânico, ambas padronizadas para %, como também para os dados de condutividade hidráulica saturada, padronizados para cm d^{-1} . O fator de conversão de unidades do teor de matéria orgânica foi registrado no campo *general_comments1* da tabela SOIL_PROPS, quando utilizado.
- Os valores de sucção, dos dados de retenção de água, densidade do solo, densidade das partículas, teor de matéria orgânica e teor de carbono orgânico foram padronizados para três algarismos significativos. Foram mantidas duas casas decimais para as medições de frações granulométricas. As medições de K_s foram também padronizadas para três algarismos significativos ou quatro, quando os valores superavam 2000 cm d^{-1} .

O HYBRAS 1.0 comporta aproximadamente 16 Megabytes de dados com 445 locais (ou perfis de solo) amostrados e correspondentes 1075 amostras de solos, muito das quais georreferencia, das (813 amostras), representando 15 estados brasileiros das 26 unidades federativas existentes e 11 grupos de solos de acordo com o *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) (WRB, 2015). A classificação das amostras de solos do HYBRAS nos grupos de solos do WRB foi efetuada por equivalência aproximada com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, seguindo a correspondência indicada em Santos et al. (2013a, pág. 340-341). Seria possível agrupar apenas 588 amostras para o banco de dados do HYPRES (Wösten et al., 1999) caso fossem aplicados os mesmos critérios de seleção das amostras do HYBRAS. Essa comparação mostra o potencial do HYBRAS quanto ao agrupamento de dados de retenção de água numa faixa ampla de sucção (0-15000 cm).

A Figura 2 mostra a localização geográfica dos locais de amostragem do HYBRAS com a identificação do número de amostras por estado. Os estados de maior expressão de dados são o Rio Grande do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, três regiões onde se concentram importantes centros de pesquisas pedológicas no país. Os tipos de solos predominantes no HYBRAS, segundo o sistema da WRB (WRB, 2015), foram os Ferrasols (355 amostras), Acrisols (209 amostras) e Nitisols (108 amostras), solos representativos de ambientes tropicais intemperizados, os dois primeiros predominantes no Brasil, cobrindo cerca de 60% do seu território (Ottoni et al., 2014). Planosols (192 amostras), Gleysols (82), Cambisols (69), Phaeozems² (28), Podzols (16), Histosols (8), Regosols (6) e Fluvisols (2) também foram representados. A plotagem dos solos brasileiros intemperizados no triângulo textural, conforme a Figura 3a, mostra um agrupamento majoritário na faixa de baixo teor de silte (<20%), conforme também destacado por Oliveira (1968) apud Tomasella et al. (2000) para seus solos de ambiente tropical. As demais amostras do HYBRAS (403 amostras) foram também registradas no triângulo textural, além da identificação do percentual do número total de amostras (1075 amostras) em cada uma das classes texturais (Figura 3b). Apesar da baixa representatividade de solos de textura mais grosseira (areia e areia franca) no HYBRAS, a presença de Arenosols e de outros solos com elevado teor de areia não é rara no país. Solos com alto teor de silte (acima de 50%) foram mal representados no HYBRAS, pois são muito pouco frequentes nas condições brasileiras (Benedetti et al., 2008; Leão, 2016).

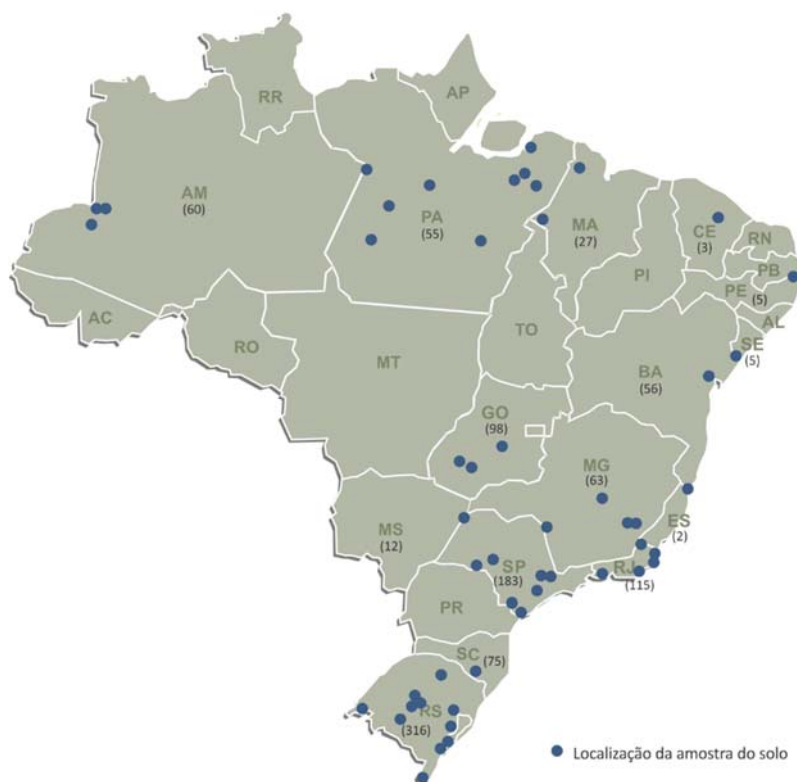
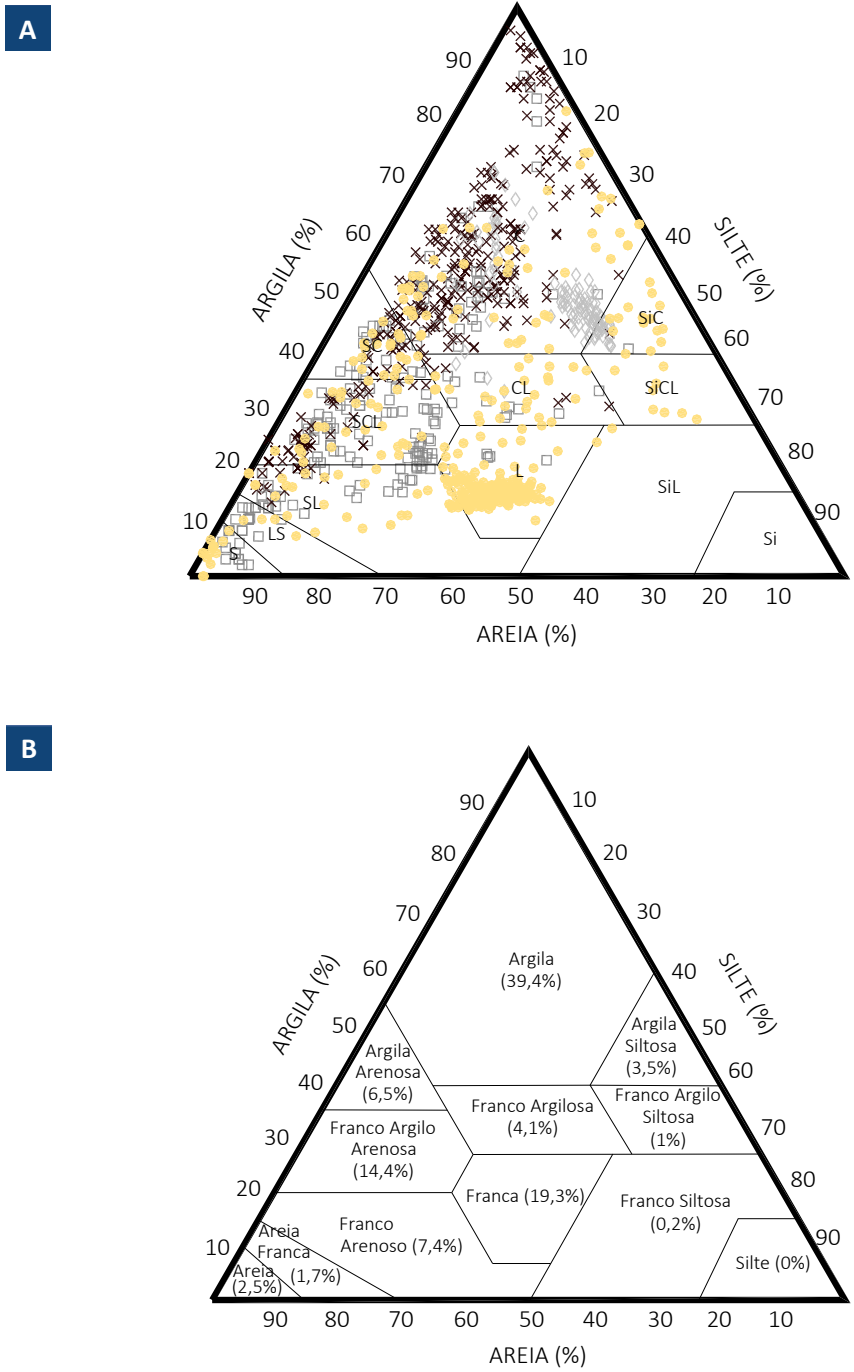


Figura 2: Distribuição dos locais de amostragem do HYBRAS com dados selecionados de retenção de água no Brasil (1075 amostras).

² Segundo o SiBCS (Santos et al., 2013a, pg. 340), os Chernossolos da classificação brasileira correspondem a Chernozems, ou Kastanozems ou Phaeozems no Sistema WRB. Considerando as características de cada um deles, estima-se que no Brasil predominem os Phaeozems, que apresentam uma camada superficial rica em matéria orgânica bem espessa, sem camada de deposição de carbonatos de cálcio, por serem mais lixiviados, em climas quentes e úmidos. Como não é objetivo deste trabalho fazer reclassificação de amostras de solos inventariadas, optou-se por adotar a classificação mais provável.



LEGENDA:

X FERRALSOLS □ ACRISOLS ◇ NITISOLS ● OUTROS SOLOS

C - Argila, SC - Argila Arenosa, CL - Franco Argilosa, SCL - Franco Argilo Arenosa, SL - Franco Arenoso, LS - Areia Franca, S - Areia, L - Franca, SiC - Argila Siltosa, SiCL - Franco Argilo Siltosa, SiL - Franco Siltosa, Si - Silte

Figura 3: **A)** Distribuição das amostras de solo do HYBRAS (1075 amostras) no triângulo textural com distinção para os Ferralsols, Acrisols e Nitisols e **B)** percentual do número total de amostras do HYBRAS nas diferentes classes texturais

DADOS HIDROFÍSICOS DO SOLO

A base de dados HYBRAS apresenta métodos consistentes e bem definidos de medição das propriedades do solo (Tabela 2). As variáveis de solo abrangeram uma grande cobertura de valores (Figura 4), englobando as faixas de valores dos atributos correspondentes registradas por outras fontes bibliográficas em solos brasileiros (Assad et al., 2001; Tomasella et al., 2003; Reichert et al., 2009; Costa et al., 2013; Barros et al., 2013; Medeiros et al., 2014; Medrado e Lima, 2014). As amplitudes das faixas de valores dos dados ficaram muito próximas, no entanto, daquelas do trabalho de Hodnett e Tomasella (2002), que levou em consideração solos de clima tropical do mundo. Esses fatores reforçam a representatividade dos dados do HYBRAS e seu potencial de gerar PTFs de retenção de água.

Solos com elevado teor de matéria orgânica (>6%) e baixa densidade (<0,8 g cm⁻³) foram pouco representados no HYBRAS, assim como aqueles com alto teor de silte (>50%) (Figura 4), conforme já anunciado. Valores médios das propriedades físicas e hidráulicas da base de dados do HYBRAS para as várias classes texturais e grupos de solos de referência de acordo com o WRB (WRB, 2015) são mostrados na Tabela 3. Embora a condutividade hidráulica saturada tenha sido representada em apenas 425 amostras, seus dados cobriram uma extensa amplitude de valores (Figura 4). A média geométrica de Ks para solos brasileiros de textura argilosa foi de 65 cm d⁻¹ (Tabela 3), valor esse altamente contrastante com a faixa usual de Ks de 2-5 cm d⁻¹ reportada na literatura para os solos argilosos de clima temperado (Tietje e Hennings, 1996; Rawls, 2004). O valor médio de água disponível, arbitrariamente determinada pela diferença entre a capacidade de campo e ponto de murcha, foi baixo, na ordem de 0,07 cm³cm⁻³ (média para 896 amostras). Nesse caso, foram também adotados arbitrariamente os conteúdos de água clássicos nas sucções de 330 cm e 15000 cm para expressar a capacidade de campo e o ponto de murcha, respectivamente. Esse resultado para água disponível foi próximo ao registrado em Batjes (1996) para Ferralsols de textura fina (0,08 cm³ cm⁻³).

Tabela 2: Métodos predominantes de determinação das propriedades de solo do HYBRAS. Os limites das frações granulométricas são os do USDA (USDA, 1987)

Propriedade do Solo	ns – Número de Medições	Método de Determinação Predominante	Percentual
Condutividade hidráulica saturada	425	Permeâmetro de carga constante	80%
Frações granulométricas	1075	Pipeta	67%
		Densímetro	27%
Carbono orgânico	910	Walkley e Black (1934) por titulação	85%
Densidade das partículas	1075	Balão volumétrico e picnômetro	91%
Densidade de solo	1075	Anel volumétrico	100%
Curva de retenção de água	1075	Mesa de tensão para sucções entre saturação e 60 cm e placa porosa em câmara de pressão para sucções superiores.	60%
		Placa porosa em câmara de pressão para a faixa de sucção completa	22%

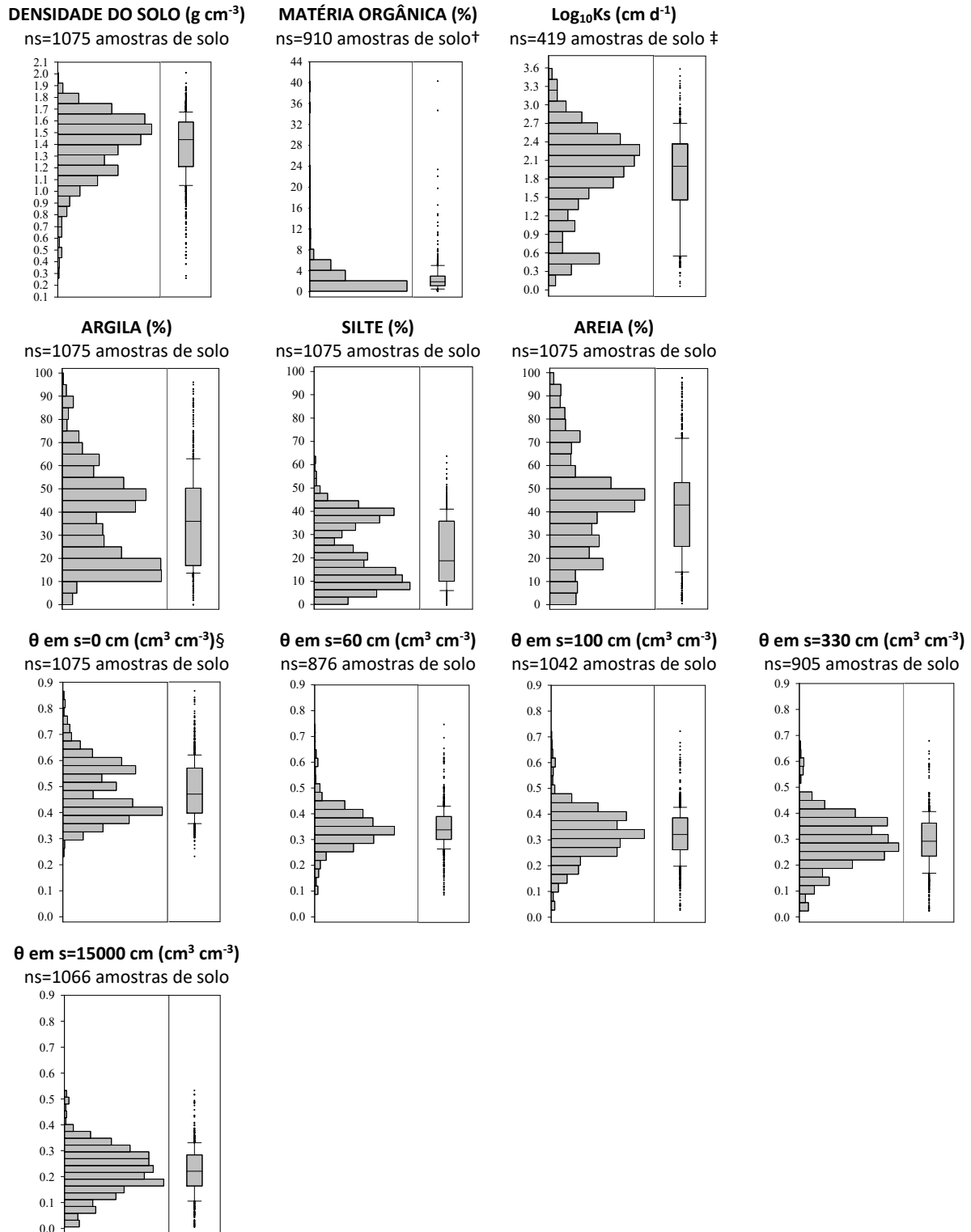


Figura 4: Distribuição das propriedades físico-hídricas dos solos do HYBRAS. A linha interna no retângulo representado no box-plot indica o valor mediano, e seus extremos, os quartis de 25 e 75%. As barras extremas indicam os *whiskers*. Além desses limites estão os *outliers*, representados, na figura, por pontos; †As percentagens de carbono orgânico foram convertidas para de matéria orgânica pelo uso do fator multiplicativo 1,724 (Embrapa, 2011) para 161 amostras; ‡ Seis amostras não representadas contêm valores de $K_s=0$ cm d^{-1} ; § Conteúdo de água na saturação ou porosidade total quando o primeiro estava indisponível (289 amostras); ns - número de amostras.

Tabela 3: Valores médios dos dados hidrofísicos do HYBRAS para várias classes texturais e grupos de solos segundo o WRB (WRB, 2015)

	Areia	Silte	Argila	BD†	OM†	θ (0 cm)	θ (60 cm)	θ (330 cm)	θ (15000 cm)	Ks‡
	%			g cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³				cm d ⁻¹
Areia	92,8	2,8	4,4	1,59	1,76	0,40	0,11	0,08	0,05	184
	(27)			(27)	(27)	(27)	(10)	(27)	(27)	(12)
Areia Franca	85,1	5,0	9,9	1,52	2,25	0,38	-	0,13	0,04	-
	(18)			(18)	(18)	(18)	(4)	(18)	(18)	(8)
Franco Arenoso	69,8	14,6	15,6	1,51	2,17	0,41	0,27	0,21	0,13	135
	(80)			(80)	(65)	(80)	(60)	(58)	(80)	(39)
Franca	45,8	38,8	15,4	1,60	2,31	0,41	0,33	0,27	0,19	-
	(207)			(207)	(204)	(207)	(207)	(206)	(207)	(6)
Franco Siltosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(2)			(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(0)
Franco Argilo Arenosa	62,1	11,6	26,2	1,52	1,76	0,42	0,30	0,22	0,16	66
	(155)			(155)	(131)	(155)	(121)	(107)	(155)	(74)
Franco Argilosa	34,8	32,6	32,6	1,23	4,60	0,52	0,39	0,35	0,27	56
	(44)			(44)	(34)	(44)	(43)	(38)	(44)	(21)
Franco Argilo Arenosa	12,2	54,6	33,3	0,97	6,69	0,61	0,44	0,39	0,29	-
	(10)			(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(4)
Argila Siltosa	12,6	43,5	44,0	1,17	4,11	0,57	0,41	0,37	0,29	-
	(38)			(38)	(38)	(38)	(38)	(37)	(38)	(7)
Argila Arenosa	50,0	9,7	40,3	1,42	1,74	0,47	0,33	0,28	0,20	52
	(70)			(70)	(54)	(70)	(50)	(52)	(70)	(43)
Argila	24,2	18,8	57,0	1,24	2,61	0,56	0,39	0,35	0,29	65
	(424)			(424)	(327)	(424)	(331)	(350)	(415)	(205)
Ferralsol	36,3	13,5	50,2	1,29	2,04	0,537	0,351	0,314	0,243	70,3
	(355)			(355)	(237)	(355)	(231)	(258)	(346)	(224)
Acrisol	55,4	14,6	30,0	1,50	1,95	0,422	0,298	0,212	0,175	103,5
	(209)			(209)	(164)	(209)	(185)	(154)	(209)	(101)
Nitissol	19,1	31,5	49,3	1,30	3,77	0,542	0,385	0,338	0,268	-
	(108)			(108)	(108)	(108)	(98)	(97)	(108)	(5)
Cambisol	33,4	23,4	43,2	1,16	2,81	0,561	0,391	0,366	0,245	50,7
	(69)			(69)	(67)	(69)	(55)	(65)	(69)	(46)
Gleysol	42,2	29,8	27,9	1,29	3,73	0,502	0,402	0,332	0,241	66,5
	(82)			(82)	(82)	(82)	(71)	(81)	(82)	(28)

Tabela 3: Valores médios dos dados hidrofísicos do HYBRAS para várias classes texturais e grupos de solos segundo o WRB (WRB, 2015) (continuação).

	Areia	Silte	Argila	BD†	OM†	θ (0 cm)	θ (60 cm)	θ (330 cm)	θ (15000 cm)	Ks‡
	%			g cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³				cm d ⁻¹
Planosol	47,0	36,5	16,6	1,63	1,80	0,390	0,321	0,260	0,186	-
	(192)			(192)	(192)	(192)	(192)	(192)	(192)	(0)
Phaeozem	35,4	32,3	32,4	1,40	2,37	0,453	0,404	0,370	0,303	-
	(28)			(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(0)
Fluvisol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(2)			(2)	(2)	(2)	(2)	(0)	(2)	(0)
Histosol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(8)			(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(6)
Podzol	92,2	2,1	5,7	1,42	3,81	0,477	-	0,166	0,080	-
		(16)		(16)	(16)	(16)	(0)	(16)	(16)	(9)
Regosol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(6)			(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(0)
Todos solos	41,6	21,9	36,5	1,4	2,51	0,484	0,346	0,293	0,221	74,8

† BD – densidade do solo, OM – teor de matéria orgânica, ‡ Ks - condutividade hidráulica saturada, calculada como a média geométrica; a segunda linha é o número de amostras; dados com menos de 10 amostras de solos por grupo não foram representados.

O HYBRAS comporta 8793 pares de θ -s (Tabela RAWRET) correspondentes a 1075 amostras, com maior concentração nas sucções de 60 cm (876 amostras), 100 cm (1042), 330 cm (905), 1000 cm (1043) e 15000 cm (1066). Não houve grande heterogeneidade no número de pares θ -s por amostra. 483 amostras estão concentradas na superfície do solo (*topsoil*) e as demais na subsuperfície (*subsoil*) (592 amostras). A classificação em solos de horizontes superficiais e subsuperficiais coincidiu com a apresentada no material suplementar do estudo de Tóth et al. (2015). Das amostras subsuperficiais, 50 foram extraídas de horizontes cuja profundidade do topo foi superior a 1 m (em apenas sete amostras, a profundidade foi acima de 1,50 m).

PARÂMETROS DO MODELO DE VG E SEUS DESEMPENHOS NA ESTIMATIVA DOS DADOS DE RETENÇÃO DE ÁGUA

A equação de VG (Eq.1) foi ajustada aos dados experimentais de retenção de água utilizando o algoritmo *GlobalSearch* da caixa de ferramenta (*toolbox*) *Global Optimization* do Programa Matlab (Matlab, 2014), obtendo-se seus quatro parâmetros (θ_s , θ_r , α , n). Apenas amostras com o número mínimo de seis pares θ - s (1063 amostras), incluindo o da umidade de saturação (ou porosidade total quando a umidade de saturação não era medida) foram consideradas no procedimento de otimização.

$$\theta(s) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot [1 + (\alpha s)^n]^{-(1-1/n)} \quad (1)$$

onde $\theta(s)$ é o conteúdo de água volumétrico ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) na sucção s (cm). Os parâmetros θ_s e θ_r são os conteúdos de água de saturação e residual, respectivamente ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$), α (cm^{-1}) e n (adimensional) são parâmetros de forma da curva. A otimização dos parâmetros foi sujeita as seguintes restrições: θ_r - [0 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$; 0,533 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$], θ_s - [0,1 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$; 0,96 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$], α - [0,00001 cm^{-1} ; 0,99999 cm^{-1}]; n - [1,01; 15]. Os limites de α e n seguiram aqueles apresentados em Tóth et al. (2015). Inicialmente, o ajuste do modelo se deu considerando valores fixos para os parâmetros iniciais ($\theta_r=0,2 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$, $\theta_s=0,8 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$, $\alpha=0,06 \text{ cm}^{-1}$ e $n=2$). Os resultados gerados para os parâmetros de VG foram então presumidos como o novo valor inicial dos parâmetros e o modelo de VG foi ajustado uma vez mais. Os resultados finais são apresentados na Figura 5.

Os valores médios de θ_r , θ_s e n foram relativamente próximos aos resultados para os solos de clima tropical de Hodnett e Tomasella (2002). Maior discrepância foi observada para as magnitudes de α , o que pode ser parcialmente justificada pelo uso de diferentes limites para os seus intervalos de ajuste, bem como pela sua mais larga faixa de variação (várias ordens de grandeza). Os valores mais elevados de α para base de dados do HYBRAS concentraram-se nas classes de textura fina, o que indica que para esses solos ocorre uma mudança repentina no teor de água, com alguns poros esvaziando sob pequenas sucções. Esse fato é geralmente mais típico nas areias, mas é também usual em solos bem estruturados, como são alguns dos solos brasileiros de textura fina. Uma análise de dados mais refinada deve ser efetuada para o desenvolvimento de futuras PTFs em solos brasileiros, incluindo a condutividade hidráulica não saturada.

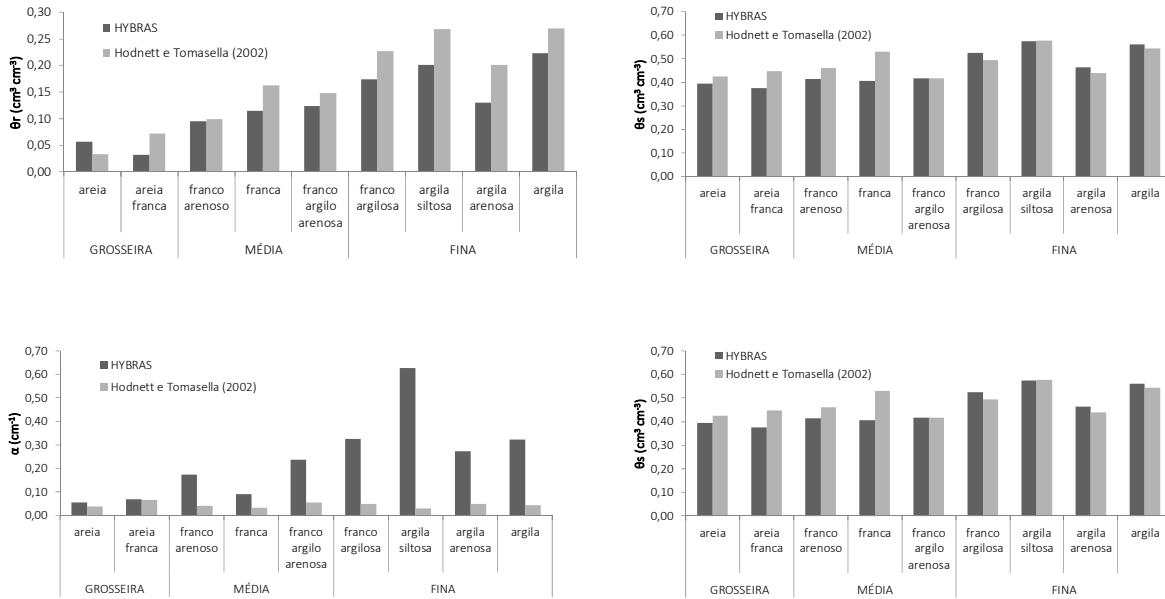


Figura 5: Média dos valores dos parâmetros da equação de van Genuchten para os solos do HYBRAS (1063 amostras) e para o banco de dados de solos de clima tropical compilado em Hodnett e Tomasella (2002), nas diferentes classes texturais e nos grupos de solos de textura fina, média e grosseira, segundo Cassel et al. (1983).

O desempenho do modelo de VG para representar os dados de retenção foi avaliado pelas estatísticas RMSE (*root mean square error*) e ME (*mean error*), com expressões correspondentes descritas abaixo por amostra de solo (subscrito s) ou outros agrupamentos de dados de θ (subscrito rs):

$$RMSE_s = \sqrt{\frac{1}{L-4} \sum_{j=1}^{Ln} (\theta_{p_j} - \theta_{m_j})^2} \quad (2)$$

$$ME_s = \frac{1}{L-4} \sum_{j=1}^{Ln} (\theta_{p_j} - \theta_{m_j}) \quad (3)$$

$$RMSE_{rs} = \sqrt{\frac{1}{TN} \sum_{j=1}^{TN} (\theta_{p_j} - \theta_{m_j})^2} \quad (4)$$

$$ME_{rs} = \frac{1}{TN} \sum_{j=1}^{TN} (\theta_{p_j} - \theta_{m_j}) \quad (5)$$

onde Ln é o número de medições por amostra, 4 (quatro) representa o número de parâmetros, TN é o número total de medições de retenção de água por intervalo de sucção, θ_m e θ_p são os conteúdos de água medidos e previstos, respectivamente. O RMSE denota o erro global de predição e o ME expressa a tendência de superestimativa ($ME > 0$) ou de subestimativa ($ME < 0$).

O modelo de VG se mostrou satisfatório no ajuste dos dados de retenção do HYBRAS, com RMSEs global na ordem de $0,0107 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, inferior ao registrado no estudo de Tomasella et al. (2003) ($0,013 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e sem tendências ($ME_s = 0,00 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), com aproximadamente 80% das amostras apresentando RMSEs inferiores a $0,015 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e 96% inferiores a $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os valores observados dos pares θ -s (8732 medições) foram estatisticamente equivalentes aos pares estimados pelo modelo de VG, com p-value = 0,71 pelo teste paramétrico t-test para amostras pareadas (p-value varia de 0 a 1; quanto maior seu valor maior similaridade entre os pares de θ observados e estimados). As magnitudes de RMSErs para todos os intervalos de 3 a 15000 cm foram baixas, na ordem de $0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, sendo os erros médios também

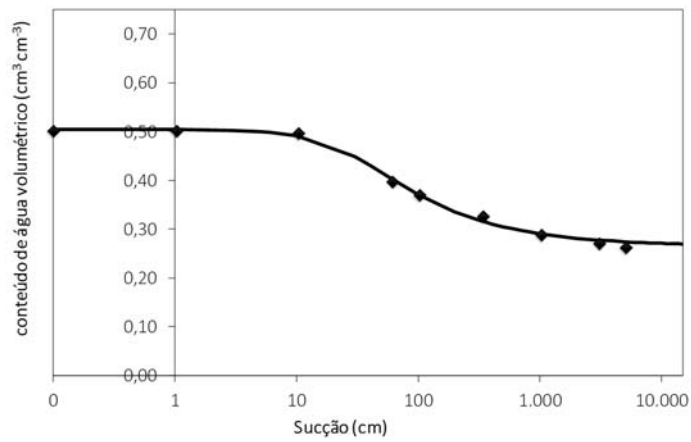
pequenos (Tabela 4). Na faixa próxima à saturação, com sucção entre 1 a 3 cm, foi registrado o pior desempenho preditor (estatísticas definidas nesse intervalo de sucção devem ser vistas com cautela devido à baixa resolução de dados - Tabela 4). Os valores de RMSEs médios não apresentaram variação significativa entre as classes texturais, oscilando em média de $0,012 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Tabela 4: RMSEs e MEs para os dados de retenção de água em diferentes faixas de sucção.

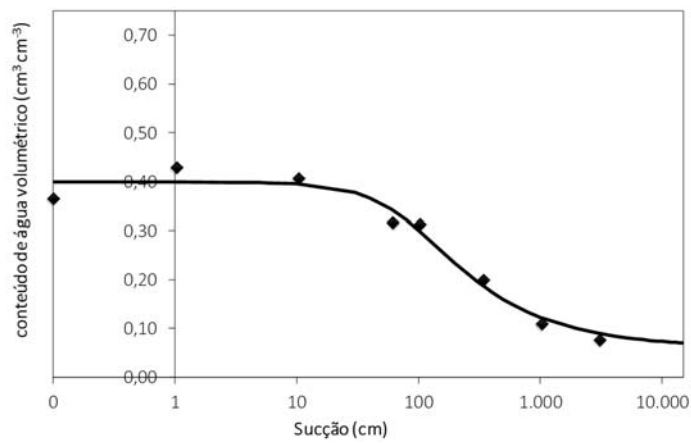
s (cm)	Número de medições	RMSE _{rs} (cm ³ cm ⁻³)	ME _{rs} (x10 ⁻² cm ³ cm ⁻³)
Saturação	1063	0,0106	0,0189
1-3	56	0,0304	-1,7986
3-10	116	0,0125	0,3353
10-30	551	0,0109	-0,0145
30-100	1522	0,0095	0,0741
100-320	1256	0,0084	0,2110
320-1000	1197	0,0100	-0,4004
1000-3200	1328	0,0110	-0,2504
3200-10000	549	0,0112	0,3054
10000-15000	1094	0,0087	0,3216

Em geral, os pontos de medição de retenção de água das amostras do HYBRAS se mostraram visualmente “bem aderentes” às curvas ajustadas de VG quando os valores de RMSEs das amostras foram menores que $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (96% das amostras) (Figura 6). Nos outros casos (RMSEs > $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) alguns solos apresentaram tendência de bimodalidade e o modelo de VG foi menos efetivo (Figura 6c).

a) $RMSE_s \sim 0.01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$



b) $RMSE_s \sim 0.03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$



c) $RMSE_s \sim 0.050 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

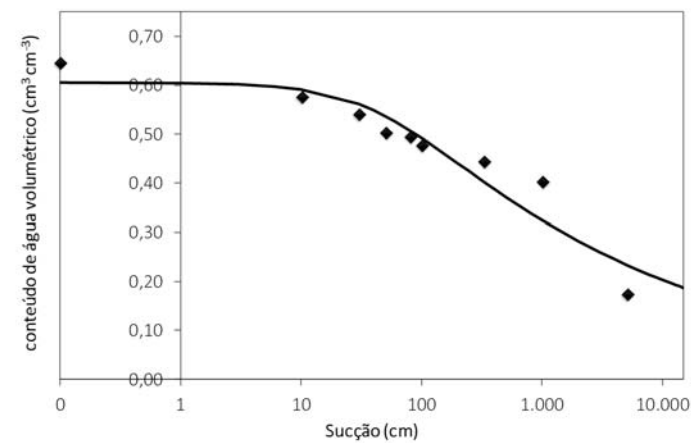


Figura 6: Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo de VG para alguns solos do HYBRAS, com os valores da raiz quadrática do erro quadrático médio da amostra (RMSEs).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A base de dados HYBRAS 1.0 é representativa de uma variedade de solos brasileiros de ambiente tropical. O banco de dados é também baseado em métodos de análise de propriedades do solo bem definidos e consistentes, contendo quantidade significativa de informações hidrofísicas em solos de regiões tropicais intemperizados, que correspondem aos pedoambientes mais comuns no Brasil. Os dados de retenção hídrica do HYBRAS foram determinados em laboratório e em amostras indeformadas. Boa resolução de dados de retenção hídrica foi obtida e disponibilizada em larga faixa de sucção (de 3 cm até 15000 cm), estando esses dados associados aos usuais atributos básicos de solo. A estrutura do HYBRAS apresenta tabelas interconectadas, cujas informações de interesse são facilmente acessadas por meio de tabelas de consultas padrão.

A equação de van Genuchten mostrou-se adequada para descrição dos dados de retenção hídrica no HYBRAS, em especial na faixa de sucção de 3-15000 cm, com RMSE global de $0,0107 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ e sem tendenciosidade marcante ao longo das faixas de sucção. Todos esses fatores criam boas perspectivas para o desenvolvimento de PTFs de retenção de água com elevada acurácia, visando obter uma cobertura de dados hidrofísicos em várias escalas e aplicações, sobretudo em estudos de modelagem de escoamentos hidráulicos. Recomenda-se, entretanto, uma análise de dados do HYBRAS mais refinada para o desenvolvimento dessas PTFs em solos brasileiros, incluindo a condutividade hidráulica não saturada. Dados de K_s (425 amostras) tiveram menor representatividade no HYBRAS que os dados de retenção de água, mas ainda assim cobriram, na medida do possível, uma larga faixa de valores, fato que pode favorecer o desenvolvimento de PTFs para essa variável.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, M.I., 2008, *Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais*. Master Dissertation. Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Andrade, C.L.T., 1987, *Balanço de água de um Latossolo Vermelho-escuro álico, cultivado com milho (ZeamaysL.), sob irrigação por aspersão*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Araujo Junior, C.F., Dias Junior, M.S., Guimarães, P.T.G., Alcântara, E.N., 2011, *Sistema poroso e capacidade de retenção de água em Latossolo submetido a diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira*, Planta Daninha, Viçosa, Minas Gerais, 29(3):499-513.
- Assad, M.L.L., Sans, L.M.A., Assad, E.D., 2001, *Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros*, Revista Brasileira de Agrometeorologia, 9(3): 588-596.
- Azevedo, J.A., 1976, *Relações físico-hídricas em solos de terraço e de meia encosta de Viçosa (MG)*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Barcelos, A.A., 1996, *Infiltração de água em um Latossolo, sob chuva de alta intensidade, em diferentes sistemas de manejo*, Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Barros, A.H.C. e De Jong van Lier, Q., 2014, *Pedotransfer functions for Brazilian soils*. In: Teixeira, W.G., M.B.Ceddia, M.V.Otoni, G.K. Donnagema (eds.). Application of Soil Physics in Environmental Analyses: Measuring, Modelling and Data Integration, 1st edn. Springer, p 131-162.
- Barros, A.H.C., De Jong van Lier, Q, Maia, A.H.M., Scarpore, F.V., 2013, *Pedotransfer functions to estimate water retention parameters of soils in northeastern Brazil*. R. Bras. Ci. Solo, 37: 379-391, doi: 10.1590/S0100-06832013000200009.
- Barros, A.H.C., De Jong van Lier, Q, Maia, A.H.M., Scarpore, F.V., 2013, *Pedotransfer functions to estimate water retention parameters of soils in northeastern Brazil*. R. Bras. Ci. Solo, 37: 379-391, doi: 10.1590/S0100-06832013000200009.
- Batjes, N.H., 1996, *Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules*, Geoderma, 71: 31-52, doi: 10.1016/0016-7061(95)00089-5.
- Benedetti, M.M., Sparovek, G., Cooper, M., Curi, N., Carvalho Filho, A., 2008, *Coverage and potential use of a soil profile database in Brazil*, R. Bras. Ci. Solo, 32: 2591-2600, doi: 10.1590/S0100-06832008000600036.
- Bhering, S.B., 2007, *Influência do manejo do solo e da dinâmica da água no sistema de produção do tomate de mesa: subsídios a sustentabilidade agrícola do Noroeste Fluminense*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Botula, Y.D., Cornelis, W.M., Baert, G., Van Ranst, E., 2012, *Evaluation of pedotransfer functions for predicting water retention of soils in Lower Congo (D.R. Congo)*, *Agric. Water Manage.*, 111: 1–10. doi:10.1016/j.agwat.2012.04.006.

Botula, Y.D., Van Ranst, E., Cornelis, W.M., 2014, *Pedotransfer functions to predict water retention for soils of the humid tropics: a review*, *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 38(3): 679-698, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300001>.

Bouma, J., 1989, *Using soil survey data for quantitative land evaluation*, *Adv. Soil Sci.*, 9:177-213.

Carducci, C.E., Oliveira, G.C., Severiano, E.C., Zeviani, W.M., 2011, *Modeling the water retention curve in Oxisols using the Double Van Genuchten Equation*, *R. Bras. Ci. Solo*, 35:77-86, doi: 10.1590/S0100-06832011000100007.

Cassel, D.K., Ratliff, L.F., Ritchie, J.T., 1983, *Models for estimating in-situ potential extractable water using soil physical and chemical properties*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 764-769, doi:10.2136/sssaj1983.03615995004700040031x.

Cintra, F.L.D. e Libardi, P.L., 1998, *Physical characterization of a soil class of the "Tabuleiro Costeiro" ecosystem*, *Sci. Agric. Piracicaba*, 55(3):367-378, doi: 10.1590/S0103-90161998000300004.

Coelho, M.R., Fidalgo, E.C.C., Araujo, F.O., dos Santos, H.G., Santos, M.L.M., Pérez, D.V., Moreira, F.M.S., 2005a, *Solos das Áreas-Piloto do Projeto ProjetoBios Brasil, Benjamin Constant, AM*, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 67, Embrapa.

Coelho, M.R., Fidalgo, E.C.C., Araujo, F.O., dos Santos, H.G., Santos, M.L.M., Pérez, D.V., Moreira, F.M.S., 2005b, *Levantamento Pedológico de uma Área-Piloto Relacionada ao Projeto BiosBrasil, Benjamin Constant, AM: Janela 6*, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 68, Embrapa.

Costa, A. da, Albuquerque, J.A., Almeida, J.A. de, Costa, A. da, Luciano, R.V., 2013, *Pedotransfer functions to estimate retention and availability of water in soils of the state of Santa Catarina, Brazil*, *R. Bras. Ci. Solo*, 37:889-910, doi: 10.1590/S0100-06832013000400007.

Costa, A.C.S. e Libardi, P.L., 1999, *Caracterização físico-hídrica de um perfil de Terra Roxa Latossólica pelo método do perfil instantâneo*, *R. Bras. Ci. Solo*, 23(3): 669-678, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000300021>.

Costa, A.C.S., 1986, *Balço hídrico das culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) e milho (*Zeamays*, L.) em condições de campo*, Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Costa, A.E.M. da, 1993, *Quantificação de atributos físico de solos de várzea, relacionados com a disponibilidade de água, o espaço aéreo e a consistência do solo*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Embrapa/FAO, 1991, *Caracterização físico hídrica dos principais solos da Amazônia legal: I Estado do Pará*, Relatório técnico, Acordo EMBRAPA/SNLCS-FAO, Belém, Brasil.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2011, *Manual de métodos de análise de solo*, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.

European Commission, 2009, *LUCAS 2009 (Land Use / Cover Area Frame Survey)*, Technical reference, document C-3: Land use and Land Cover:Nomenclature (version of 20/03/2009), Eurostat.

Ferreira, I.C.M., 2007, *Associação entre solos e remanescentes de vegetação nativa em Campinas, SP*, Dissertação de Mestrado, Pós-graduação do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, Campinas, São Paulo, Brasil.

Fidalski, J. e Tormena, C.A., 2007, *Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros*, Ciência Rural, Santa Maria, 37(5): 45-89, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000500015>.

Fiorin, T.T., 2008, *Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções*, PhD thesis, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Grego, C.R., Coelho, R.M., Vieira, S.R., 2011, *Critérios morfológicos e taxonômicos de Latossolo e Nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística*, R. Bras. Ci. Solo, 35:337-350, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200005>.

Hodnett, M.G. e Tomasella, J., 2002, *Marked differences between van Genuchten soil water retention parameters for temperate and tropical soils: a new water retention pedotransfer function developed for tropical soils*, Geoderma, 108: 155-180, doi: [10.1016/S0016-7061\(02\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00105-2).

Leal, F.G., 2011, *Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do Assentamento Agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim - RJ*, Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Leão, T.P., 2016, *Particle size distribution of Oxisols in Brazil*, Geoderma Regional, 7: 216-222, doi: [10.1016/j.geodrs.2016.04.003](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.04.003).

Lumbreiras, J.F., 1996, *Regime hídrico do solo sob cobertura de floresta e de eucalipto na pré-amazônia maranhense*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Macedo, J.R., 1991, *Determinação de retenção hídrica por correlação múltipla e de variabilidade espacial em solos podzólicos de Seropédica/RJ*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Manyame, C., Morgan, C.L., Heilman, J.L., Fatondji, D., Gerard, B., Payne, W.A., 2007, *Modeling hydraulic properties of sandy soils of Niger using pedotransfer functions*, Geoderma, 141: 407–415, doi: [10.1016/j.geoderma.2007.07.006](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.07.006).

Marques, J.D.O., Teixeira, W.G., Reis, A.M., Junior, O.F.C., Batista, S.M., Afonso, M.A.C.B., 2010, *Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins*, Acta Amazonica, 40(1):1-12, doi: [10.1590/S0044-59672010000100001](https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100001).

Matlab, 2014, *Matlab and Statistics Toolbox Release 2014b*, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.

Medeiros, J.C., Cooper, M., Rosa, J.D., Grimaldi, M., Coquet, Y., 2014, *Assessment of pedotransfer functions for estimating soil water retention curves for the amazon region*, R. Bras. Ci. Solo, 38: 730-743, doi: [10.1590/S0100-06832014000300005](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300005).

Medrado, E. e Lima, J. E.F.W., 2014, *Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of the Brazilian savanna*, Geoderma Regional, 1: 59–66, doi: [10.1016/j.geodrs.2014.08.003](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.08.003).

- Mello, C.R. de., Oliveira, G.C. de, Ferreira, D.F., Lima, J.M. de, Lopes, D., 2005, *Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo*, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9(1):23-29
- Minasny, B., e McBratney, A.B., 2000, *Evaluation and development of hydraulic conductivity Pedotransfer functions for Australian soil*, Aust. J. Soil Res., 38, 905–26, <http://dx.doi.org/10.1071/SR99110>.
- Moreira, J.A.A. e Silva, C.J.C.G., 1987, *Características de retenção de água de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Goiana, Pernambuco*, Pesq. Agropec. Bras., 22(4):411–418.
- Nacif, P.G.S., 1994, *Efeitos da Subsolação em propriedades físico-hídricas de um Latossolo Amarelo álico coeso, representativo do Recôncavo Baiano*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Nacif, P.G.S., Rezende, J.O., Fontes, L.E.F., Costa, L.M. da, Costa, O.V., 2008, *Efeitos da subsolação em propriedades físico-hídricas de um Latossolo Amarelo distrocoeso do estado da Bahia*, Magistra, Cruz das Almas-BA, 20(2): 186-192.
- Nebel, A.L.C., Timm, L.C., Cornelis, W., Gabriels, D., Reichardt, K., Aquino, L.S., Pauletto, E.A., Reinert, D.J., 2010, *Pedotransfer functions related to spatial variability of water retention attributes for lowlands soils*, R.Bras.Ci.Solo, 34:669-680, doi: 10.1590/S0100-06832010000300008.
- Nemes, A., Schaap, M.G., Leij, F.J., Wösten, J.H.M., 2001, *Description of the unsaturated soil hydraulic database UNSODA version 2.0*, Journal of Hydrology, 251(34): 151–162.10.1016/S0022-1694 (01)00465-6.
- Neuwald, O., 2005, *Atributos físico e hídricos do solo e produtividade da soja em sistema integrado lavoura-pecuária, em Nitossolo Háptico sob diferentes sistemas de manejo*, Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, Santa Catarina, Brasil.
- Nguyen, P.M., Khoa, V.L., Botula, Y.D., Cornelis, W.M., 2015, *Evaluation of soil water retention pedotransfer functions for Vietnamese Mekong Delta soils*, Agricultural Water Management, 158, 126–138, doi: 10.1016/j.agwat.2015.04.011
- Oliveira, L.B., 1968, *Considerações sobre a composição granulométrica de solos do nordeste*, Pesq. Agropec. Bras., 3: 189–195.
- Otoni, M.V., 2017, *Sistema de Classificação dos Solos baseado na Estrutura do Espaço Poroso*, Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 179p.
- Otoni, M.V., Assad, M.L.L., Pachepsky, Ya., Rotunno Filho, O.C., 2014, *A Hydrophysical Database to Develop Pedotransfer Functions for Brazilian Soils: Challenges and Perspectives*, In: Teixeira, W.G., M.B. Ceddia, M.V. Otoni, G.K. Donnagema (eds.), Application of Soil Physics in Environmental Analyses: Measuring, Modelling and Data Integration, 1st edn, Springer, p 467-494.
- Parfitt, J.M., 2009, *Impacto da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológicos em solos de várzea*, Tese de Doutorado, Programa de pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Patil, N.G. e Singh, S.K., 2016, *Pedotransfer Functions for Estimating Soil Hydraulic Properties: A Review*, Pedosphere26 (4): 417–430, doi: 10.1016/S1002-0160(15)60054-6.
- Rawls, W.J., 2004, *Pedotransfer functions for the United States*, In: Ya Pachepsky and W.J. Rawls (eds.), Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. Elsevier, Vol 30, p 437-447, [https://doi.org/10.1016/S0166-2481 \(04\)30023-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481 (04)30023-1).

Reichert, J.M., Albuquerque, J.A., Kaiser, D.R., Reinert, D.J., Urach, F.L., Carlesso, R., 2009, *Estimation of water retention under availability in soils of Rio Grande do Sul*, R. Bras. Ci. Solo, 33: 1547-1560, doi: 10.1590/S0100-06832009000600004.

Rojas, C.A.L., 1998, *Alterações físico-hídricas de um Podzólico em função do manejo de solo*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Santos, H.G. dos, Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C. dos, Oliveira, V.A. de, Lumbreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A. de, Cunha, T. J. F., Oliveira, J.B. (Eds.), 2013a, *Sistema brasileiro de classificação de solos*, 34. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Scardua, R., 1972, *Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba, SP*, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo, Brasil.

Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, MTh., 2001, *ROSSETA: computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions*, Journal of Hydrology, 251: 163-176, doi: 10.1016/S0022-1694(01)00466-8.

Silva, A.P. da, Tormena, C.A., Fidalski, J., Imhoff, S., 2008, *Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração*, Rev. Bras. Ciênc. Solo, 32(1): 1-10, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100001>.

Silva, M.A.S. da, 2003, *Agregação e atributos físico-hídricos do solo em sistemas conservacionistas de manejo*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, Santa Catarina, Brasil.

Silva, M.A.S. da, Mafra, A.L., Albuquerque, J.A., Bayer, C., Mielniczuk, J., 2005, *Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo*, Ciência Rural, Santa Maria, 35(3):544-552, doi: 10.1590/S0103-84782005000300009.

Souto Filho, S.N., 2012, *Variação de armazenamento de água num Latossolos de Cerrado em recuperação*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

Souza, L.S. e Souza, L.D., 2001, *Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical*, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 20, Cruz das Almas/BA.

Thurler, A.M., 2000, *Determinação da capacidade de campo e retenção de umidade em solos do Terciário da Formação Barreiras, em função de suas características granulométricas e fatores estruturais*, Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de pós-graduação em Ciência do Solo, Instituto de Agronomia, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Tietje, O. e Hennings, V., 1996, *Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes*, Geoderma, 69(1):71-84, [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00050-X](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(95)00050-X).

Toma, R.S., 2012, *Evolução do funcionamento físico-hídrico do solo em diferentes sistemas de manejo em áreas de agricultura familiar na região do vale do Ribeira, SP*, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo, Brasil.

- Tomasella, J. e Hodnett, M.G., 1998, *Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia*, Soil Sci., 163: 190-202, doi: 10.1097/00010694-199803000-00003.
- Tomasella, J. e Hodnett, M.G., 2004, *Pedotransfer functions for tropical soils*, In: Pachepsky, Ya., and Rawls, W.J. (Eds.), *Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology: Developments in Soil Science*, 30, Elsevier, pp. 415–429
- Tomasella, J., Hodnett, M.G., Rossato, L., 2000, *Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils*, Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 327-338, doi: 10.2136/sssaj2000.641327x.
- Tomasella, J., Pachepsky, Ya., Crestana, S., Rawls, W.J., 2003, *Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention*, Soil. Sci. Soc. Am. J., 67: 1085-1092, doi: 10.2136/sssaj2003.1085.
- Tormena, C.A. e Silva, A.P. da, 2002, *Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo*, R. Bras. Ci. Solo, 26:305-314, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000200003>.
- Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G., Tóth, G., 2015, *New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe*, European Journal of Soil Science, 66: 226–238, doi: 10.1111/ejss.12192
- USDA, 1987, *Soil Mechanics Level I, Module 3 - USDA Textural Soil Classification, Study Guide*, National Employee Development Staff, Soil Conservation Service.
- van Genuchten, MTh., 1980, *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*, Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 892-989, doi: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x
- Vasconcellos, E.B., 1993, *Levantamento dos atributos físicos e hídricos de três solos de várzea do Rio Grande do Sul*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C., 1999, *Development and use of a database of hydraulic properties of European soils*, Geoderma, 90: 169–185, doi:10.1016/S0016-7061(98)00132-3.
- WRB-World Reference Base for Soil Resources, 2015, *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, World Soil Resources Reports, No. 106, FAO, Rome.

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Relacionamento das tabelas do HYBRAS. ns indica o número de amostras; n, os diferentes métodos de determinação da variável indicada; nth, o número de pares de dados θ -s, onde θ é o conteúdo de água volumétrico e s, a sucção	4
Figura 2: Distribuição dos locais de amostragem do HYBRAS com dados selecionados de retenção de água no Brasil (1075 amostras).....	9
Figura 3: A) Distribuição das amostras de solo do HYBRAS (1075 amostras) no triângulo textural com distinção para os Ferralsols, Acrisols e Nitisols e B) percentual do número total de amostras do HYBRAS nas diferentes classes texturais.....	10
Figura 4: Distribuição das propriedades físico-hídricas dos solos do HYBRAS. A linha interna no retângulo representado no box-plot indica o valor mediano, e seus extremos, os quartis de 25 e 75%. As barras extremas indicam os <i>whiskers</i> . Além desses limites estão os <i>outliers</i> , representados, na figura, por pontos; †As percentagens de carbono orgânico foram convertidas para de matéria orgânica pelo uso do fator multiplicativo 1,724 (Embrapa, 2011) para 161 amostras; ‡ Seis amostras não representadas contêm valores de $K_s=0$ cm d-1; § Conteúdo de água na saturação ou porosidade total quando o primeiro estava indisponível (289 amostras); ns - número de amostras.	12
Figura 5: Média dos valores dos parâmetros da equação de van Genuchten para os solos do HYBRAS (1063 amostras) e para o banco de dados de solos de clima tropical compilado em Hodnett e Tomasella (2002), nas diferentes classes texturais e nos grupos de solos de textura fina, média e grosseira, segundo Cassel et al. (1983).	16
Figura 6: Curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo de VG para alguns solos do HYBRAS, com os valores da raiz quadrática do erro quadrático médio da amostra (RMSEs).	18

ÍNDICE DAS TABELAS

Tabela 1: Relação das fontes bibliográficas dos solos do HYBRAS	7
Tabela 2: Métodos predominantes de determinação das propriedades de solo do HYBRAS. Os limites das frações granulométricas são os do USDA (USDA, 1987)	11
Tabela 3: Valores médios dos dados hidrofísicos do HYBRAS para várias classes texturais e grupos de solos segundo o WRB (WRB, 2015).....	13
Tabela 4: RMSEs e MERS para os dados de retenção de água em diferentes faixas de sucção.	17

ABREVIATURAS

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

EU-HYDI – EUropean HYdropedological Data Inventory

HYBRAS – HYdrophysical database for BRAzilian Soils

HYPRES – HYdraulic PROPERTIES of European Soils

LUCAS – Land Use/Cover Area Frame Survey

ME – Mean error

PTF – função de pedotransferência

RMSE – Root mean square error

UNSODA – Unsaturated Soil Hydraulic Database

USDA – United States Department of Agriculture

VG – Van Genuchten

WRB – World Reference Base for Soil Resources

