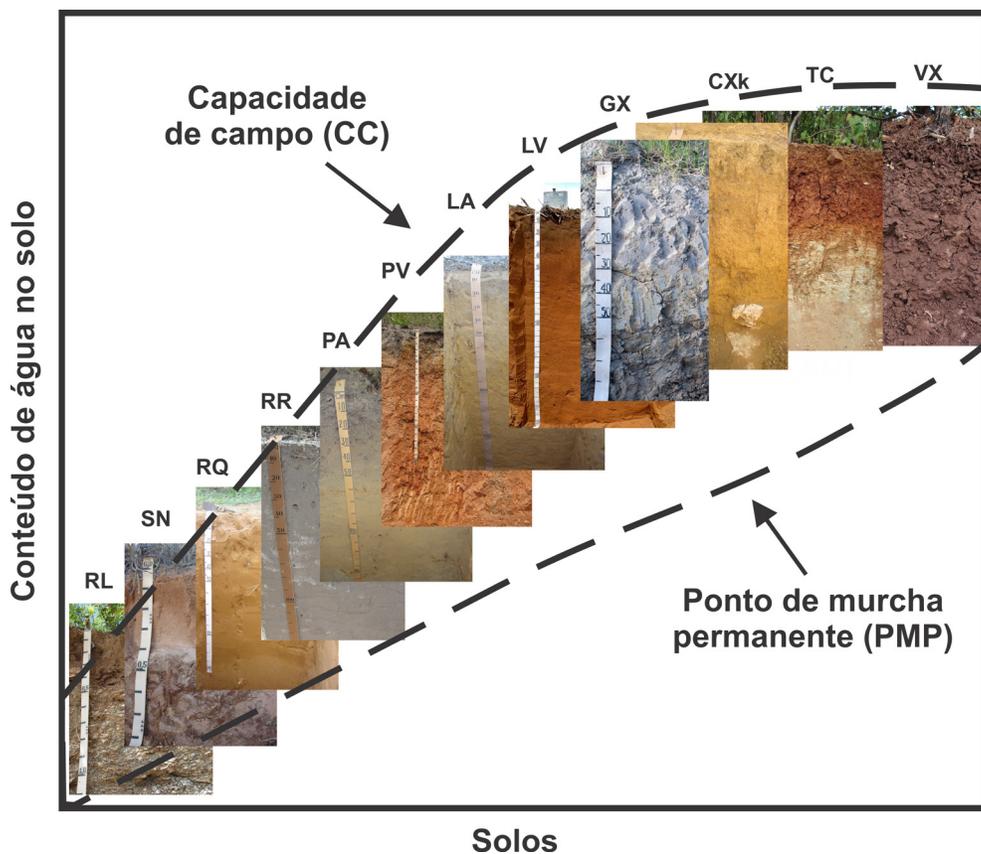




Avaliação, Predição e Mapeamento de Água Disponível em Solos do Brasil



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
282**

**Avaliação, Predição e Mapeamento de
Água Disponível em Solos do Brasil**

*José Coelho de Araújo Filho
Alexandre Hugo Cezar Barros
Pauliana Valéria Machado Galvão
Wenceslau Gerales Teixeira
Evaldo de Paiva Lima
Daniel de Castro Victoria
Aderson Soares de Andrade Júnior
Joaquim Pedro de Santana Xavier
José Francisco Lumbreras
Maurício Rizzato Coelho
Jesus Fernando Mansilla Baca
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro
Flavio Cristiano Saldanha Ferreira de Oliveira
Antonio Diomescio da Silva Filho
Juliana Patrícia Fernandes Guedes Barros*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2022

Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024.
Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ - CEP: 22460-000
Fone: + 55 (21) 2179-4500
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Solos

Presidente
Silvio Barge Bhering

Secretário-Executivo
Marcos Antônio Nakayama

Membros
*Bernadete da Conceição Carvalho Gomes
Pedreira, David Vilas Boas de Campos, Evaldo
de Paiva Lima, José Francisco Lumbreras,
Joyce Maria Guimarães Monteiro, Lucia Raquel
Queiroz Pereira da Luz, Maurício Rizzato
Coelho, Wenceslau Geraldes Teixeira*

Supervisão editorial
Marcos Antônio Nakayama

Normalização bibliográfica
Luciana Sampaio de Araujo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Figura da capa
*Alexandre Hugo Cezar Barros e José Coelho de
Araújo Filho*

1ª edição
Versão Digital PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Avaliação, predição e mapeamento de água disponível em solos do Brasil / José
Coelho de Araújo Filho ... [et al.]. – Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2022.

E-book : il. color. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN
1678-0892 ; 282).

E-book no formato PDF.

1. Água do Solo. 2. Disponibilidade de Água. 3. Mapa. 4. Zoneamento Agrícola. 5. Risco Climático. I. Araújo Filho, José Coelho de. II. Barros, Alexandre Hugo Cezar. III. Galvão, Pauliana Valéria Machado. IV. Teixeira, Wenceslau Geraldes. V. Lima, Evaldo de Paiva. VI. Victoria, Daniel de Castro. VII. Andrade Júnior, Aderson Soares de. VIII. Xavier, Joaquim Pedro de Santana. IX. Lumbreras, José Francisco. X. Coelho, Maurício Rizzato. XI. Baca, Jesus Fernando Mansilla. XII. Monteiro, José Eduardo Boffino de Almeida. XIII. Oliveira, Flavio Cristiano Saldanha Ferreira de. XIV. Silva Filho, Antonio Diomescio da. XV. Barros, Juliana Patrícia Fernandes Guedes. XVI. Embrapa Solos. XVII. Série.

CDD 631.43

Sumário

Resumo	7
Abstract	9
Introdução.....	10
Água Disponível às Plantas	13
Material e Métodos	31
Resultados e Discussão	44
Conclusões.....	100
Agradecimentos.....	101
Referências.....	102
Apêndice 1. Análise gráfica de resíduos nos modelos desenvolvidos para predição de água disponível (AD) em solos do Brasil.....	126
Apêndice 2. Mapa de água disponível (AD) de solos representativos do território nacional disponibilizado em base cartográfica escala 1:250.000.....	134
Apêndice 3. Catálogo com valores de água disponível de solos representativos do Brasil (AD-Brasil).....	134
Apêndice 4. Relações entre a água disponível e os grupamentos texturais representativos da cobertura pedológica do Brasil.....	144

Avaliação, Predição e Mapeamento de Água Disponível em Solos do Brasil

José Coelho de Araújo Filho¹

Alexandre Hugo Cezar Barros²

Pauliana Valéria Machado Galvão³

Wenceslau Geraldes Teixeira⁴

Evaldo de Paiva Lima⁵

Daniel de Castro Victoria⁶

Aderson Soares de Andrade Júnior⁷

Joaquim Pedro de Santana Xavier⁸

José Francisco Lumbreras⁹

Maurício Rizzato Coelho¹⁰

Jesus Fernando Mansilla Baca¹¹

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro¹²

Flavio Cristiano Saldanha Ferreira de Oliveira¹³

Antonio Diomescio da Silva Filho¹⁴

Juliana Patrícia Fernandes Guedes Barros¹⁵

Resumo - Informações de água disponível (AD) no solo são utilizadas frequentemente na modelagem de risco agroclimático do Brasil, periodicamente atualizada no programa de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc). A fim de disponibilizar informações mais acuradas de AD para todo território nacional visando melhorias na modelagem do Zarc e outras aplicações, os principais objetivos deste trabalho foram: (1) organizar uma base de dados espaciais com informações de AD (mm cm^{-1}) considerando 10 grupamentos texturais de solos representativos do Brasil; (2) disponibilizar um catálogo com valores de AD organizados em acordo com as classes taxonômicas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS); (3) elaborar e avaliar modelos de pedotransferência (PTFs) para predição de AD; (4) desenvolver um protocolo de procedimentos para elaboração de mapas de AD a partir de mapas pedológicos disponíveis em qualquer escala; e (5) elaborar um mapa de AD de solos do Brasil. As análises estatísticas descritivas, testes não-paramétricos para comparações entre medianas e modelos preditivos de AD foram realizados com o uso do software R. Foi organizado um catálogo com informações da estatística descritiva de AD dos solos representativos

do Brasil em função de uma base de dados com 1.514 perfis de solos. O melhor modelo preditivo de AD, com um R^2 ajustado de 71%, foi uma regressão linear múltipla. As variáveis regressoras deste modelo foram subordens, grandes grupos taxonômicos de solos selecionados conforme o SiBCS e grupamentos texturais de solos. O segundo melhor modelo foi uma regressão linear simples obtida em função de grupamentos texturais de solos com um R^2 ajustado de 66%. Com base no protocolo desenvolvido neste estudo, elaborou-se o mapa de AD de solos do Brasil disponibilizado na escala cartográfica de 1:250.000.

Termos para indexação: água no solo, modelagem, mapeamento de água disponível no solo.

1 Engenheiro-agrônomo, doutor em Geoquímica e Geotectônica, pesquisador da Embrapa Solos, Recife, PE.

2 Engenheiro-agrônomo, doutor em Física do Ambiente Agrícola, pesquisador da Embrapa Solos, Recife, PE.

3 Cirurgiã-dentista, doutora em Epidemiologia em Saúde Pública, professora adjunta da Universidade de Pernambuco, Serra Talhada, PE.

4 Engenheiro-agrônomo, doutor em Geoecologia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

5 Meteorologista, doutor em Meteorologia Agrícola, pesquisador da Embrapa Solos, Recife, PE.

6 Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

7 Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio Norte, Teresina-PI.

8 Bacharel em Geografia, mestre em Geografia, bolsista Embrapa-Faped, Recife, PE.

9 Engenheiro-agrônomo, doutor em Planejamento e Gestão Ambiental, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

10 Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

11 Engenheiro-cartográfico, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

12 Engenheiro-agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

13 Engenheiro agrícola e ambiental, mestrando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFRPE, Recife, PE.

14 Graduada de Licenciatura em Geografia, UFPE, Recife, PE.

Assessment, prediction and mapping of soil available water in Brazil

Crop available water (AD) in soils is a frequently used information in agroclimatic risk modeling in Brazil, periodically updated at the Agricultural Climate Risk Zoning (Zarc) program. In order to provide more accurate AD information for the Brazilian territory and improve Zarc modeling and other applications, the main objectives of this work were: (1) set a spatial database with AD information (mm cm^{-1}) considering 10 textural groups of representative soils of Brazil; (2) provide a catalog with AD values organized according to the taxonomic classes of the Brazilian Soil Classification System (SiBCS); (3) develop and evaluate pedotransfer functions (PTFs) for AD prediction; (4) develop a protocol of procedures for the elaboration of AD maps using soil maps at any scale; and (5) prepare a soil AD map of Brazil. Descriptive statistical analyses, non-parametric tests for comparisons between medians and AD predictive models were performed using the R software. A catalog with AD descriptive statistics was organized for representative soils in Brazil based on data from 1,514 soil profiles. The best predictive AD model (R^2 of 71%), was a multiple linear regression. The regression variables of this model were suborders, taxonomic great groups of soils selected according to the SiBCS and soil textural groups. The second-best model was a simple linear regression obtained as a function of soil textural clusters (R^2 of 66%). Based on the protocol developed in this study, the soil AD map of Brazil was prepared and now available at a cartographic scale of 1:250,000.

Index terms: soil water, modeling, mapping of soil available water.

1. Introdução

O volume de água que o solo pode armazenar de forma acessível às plantas é um parâmetro utilizado na modelagem de risco agroclimático do Brasil atualmente realizada por meio do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc). O Zarc é um estudo agrometeorológico que delimita regiões de produção e épocas de plantio de acordo com suas probabilidades de perda de produção causadas por eventos meteorológicos adversos. Seus resultados indicam “o que”, “onde” e “quando” plantar com menores riscos de perda. Essas informações podem ser usadas para avaliar quais os cultivos mais viáveis em cada município, o sistema de produção, as melhores datas de plantio, os ciclos mais indicados, a viabilidade ou não de 2ª ou 3ª safra e as práticas de manejo mais importantes ou indispensáveis. As informações do Zarc são utilizadas no Proagro e no Programa de Subvenção ao Prêmio de Seguro Rural que são programas de política de gestão de risco do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Cabe destacar que na modelagem do Zarc são consideradas informações do clima, da água no solo, bem como de aspectos fenológicos das culturas. Neste estudo, todavia, o foco se restringe à questão da água no solo para fins de uso agrícola no contexto da cobertura pedológica do território nacional.

A água que os solos podem armazenar no seu espaço poroso de modo que as plantas possam acessá-la, garantindo a vida continental no planeta, denomina-se água disponível (AD). É um parâmetro de grande importância agrônômica, ecológica, meteorológica, hidrológica, assim como para predição de safras. Destaca-se também, como um parâmetro relevante para estudos de erosão do solo, cobertura vegetal, proteção ambiental, estoque de carbono e mudanças climáticas (Timlin et al., 2001; Milly; Shmakin, 2002; Rawls; Pachepsky 2002; Rawls et al., 2003; García-González et al., 2018; Yu et al., 2021). Além disso, é um importante indicador de qualidade física de solos (Hong et al., 2013) e indispensável no planejamento de cultivos irrigados (Zhou et al., 2005).

No concernente às atividades agrícolas, o conhecimento da AD é imprescindível uma vez que cada cultura possui uma demanda hídrica ideal conforme sua curva de crescimento (Monteiro, 2009). Entretanto, cabe destacar que a AD dos solos varia no espaço e no tempo em função de vários fatores

edafoclimáticos. Por isto, o conhecimento desse parâmetro é indispensável para zonar solos conforme sua AD visando apoiar as tomadas de decisão em cultivos agrícolas, sejam de sequeiro ou em condições de manejo irrigado. Neste último caso, o conhecimento da AD viabiliza planejar o manejo racional da irrigação, evitando-se desperdícios de água e de insumos, minimizando custos, além de riscos econômicos e ambientais.

Em relação às demandas hídricas das culturas, até recentemente a modelagem do Zarc considerava apenas três cenários de AD no solo. Tais cenários eram concebidos em função de três grupamentos texturais: arenosa ($AD = 0,7 \text{ mm cm}^{-1}$); média ($AD = 1,1 \text{ mm cm}^{-1}$); e argilosa ($AD = 1,5 \text{ mm cm}^{-1}$) (Teixeira et al., 2021).

Entretanto, conforme a política de atualização periódica do Zarc, um novo sistema de classificação de solos para avaliação de risco hídrico deverá entrar em vigor a partir de 2022. Este sistema foi concebido para utilizar seis classes de AD definidas em intervalos (mínimo – máximo) de modo a manter uma diferença máxima próxima a 5% do risco hídrico entre o valor mínimo e o máximo de cada classe. São elas (em mm cm^{-1}): (a) $0,34 \leq AD1 \leq 0,47$; (b) $0,48 \leq AD2 \leq 0,67$; (c) $0,68 \leq AD3 \leq 0,94$; (d) $0,95 \leq AD4 \leq 1,32$; (e) $1,33 \leq AD5 \leq 1,84$; e (f) $AD6 > 1,84$. O mencionado sistema foi organizado de forma hierárquica, com diferentes métodos para estimativa de AD, conforme a disponibilidade de dados sobre os solos. No primeiro nível hierárquico, o método mais simples de estimativa de AD utiliza uma função de pedotransferência (PTF) dependente, apenas, dos teores de areia total, silte e argila do solo. Esta estimativa pode ser complementada e mais bem estabelecida por meio de outros parâmetros nos demais níveis hierárquicos do sistema como, por exemplo, as informações de mapas de AD de solos do Brasil e aquelas do catálogo de valores de AD por classe de solo, objeto principal deste estudo. A disponibilidade de dados de AD mais precisos e classes de AD bem estabelecidas têm um grande potencial de aumentar a acurácia das análises de risco ao déficit hídrico para os cultivos, assim como poderá beneficiar vários outros usuários que utilizam informações de AD (Teixeira et al., 2021).

Vale destacar que, além dos atributos relativos à granulometria (teores de areia grossa, areia fina, silte e argila), existem muitos outros atributos e fatores ambientais que influenciam, em maior ou menor escala, na AD dos solos. Por isso, é imprescindível considerar a marcante variabilidade da cobertura

pedológica nas diferentes regiões do País e sua influência na AD dos solos. Nesse sentido, tornam-se necessários estudos estratégicos com informações adequadas, não apenas para fazer estimativas de AD (Teixeira et al., 2021) para diferentes tipos de solos, mas que também viabilizem elaborar, de forma prática, mapas com a espacialização da AD em qualquer escala cartográfica para todo o território nacional. Tais estudos, por conseguinte, constituem grandes desafios a serem resolvidos no contexto dos processos de melhoria contínua da modelagem para análise de risco no Zarc.

Neste aspecto, cabe ressaltar que poucos trabalhos foram dedicados ao mapeamento de água disponível no solo, sobretudo para grandes extensões territoriais em regiões tropicais (Wösten et al., 2013).

No que se refere à necessidade de conhecimento da AD nos solos representativos da cobertura pedológica do território nacional, sobretudo para apoiar demandas do Zarc, o presente estudo teve os seguintes objetivos:

- 1) Organizar uma base de dados com informações físico-hídricas para cálculo da água disponível de solos representativos do território nacional;
- 2) Realizar o cálculo da água disponível por classe de solo estabelecidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos et al., 2018);
- 3) Analisar estatisticamente e organizar as informações de AD (mm cm^{-1}) em um catálogo considerando as classes de solos do SiBCS e seus grupamentos texturais;
- 4) Elaborar e avaliar funções de pedotransferência (PTFs) para predição de AD levando em conta classes de solos do SiBCS e seus grupamentos texturais;
- 5) Desenvolver um protocolo para elaborar mapas de AD a partir de mapas pedológicos disponíveis em qualquer escala; e
- 6) Elaborar um mapa de AD de solos do território nacional utilizando o mapa de solos do Brasil (IBGE, 2020) disponibilizado numa base cartográfica na escala 1:250.000.

As hipóteses deste estudo foram as seguintes: (a) a retenção de água no solo tem como componente mais determinístico o seu grupamento

textural, independentemente da classe taxonômica a que pertence; (b) modelos preditivos que incorporem, além de regressores morfológicos, físicos e químicos, informações de classes taxonômicas, podem melhor explicar a AD dos solos; e (c) com base em valores de AD de solos representativos do território nacional é possível elaborar mapas deste parâmetro utilizando informações disponíveis nas legendas de mapas pedológicos em qualquer escala cartográfica.

Este trabalho atende o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável estipulado pelas Nações Unidas (ONU), mais especificamente à meta 2.4, que pretende, até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar.

2. Água Disponível às Plantas

O reservatório de água no solo disponível às plantas possui comportamento dinâmico, pois move-se dos locais de maior potencial para os de menor potencial (Reichardt, 1978). Por isso, a água fica em permanente redistribuição dentro do perfil de solo conforme o seu gradiente de potencial. Em função desse comportamento surgem dificuldades para se estabelecer o conceito de água disponível às plantas de forma precisa e quantitativa.

Entretanto, tradicionalmente, nos mais diversos estudos realizados, desde mais de um século (por exemplo, Briggs; Shantz, 1912a, 1912b; Hendrickson; Veihmeyer, 1945) até os dias atuais (Kern, 1995; Yu et al., 2021), considera-se a AD como um parâmetro estático que corresponde ao volume da água retido no solo entre dois limites de potenciais. O limite superior é a máxima quantidade de água que o solo pode reter após o processo de drenagem governado pela força gravitacional. Corresponde a um potencial estabelecido para representar a denominada capacidade de campo (CC) que é um parâmetro ainda muito debatido (Nachabe, 1998; Assouline; Or, 2014; De

Jong van Lier; Wendroth, 2016). O limite inferior relaciona-se a um potencial representativo do denominado ponto de murcha permanente (PMP). Assim, a AD é estimada em função do volume de água armazenado no perfil de solo subtraindo o valor da umidade na CC do valor da umidade no PMP. É um parâmetro estático e prático, sendo ainda muito utilizado (Romano; Santini, 2002; De Jong van Lier; Wendroth, 2016; De Jong van Lier, 2017). Entretanto, persiste um problema crucial e global que é a divergência quanto ao limite superior (CC) para estimar a AD, o que dificulta comparações deste parâmetro entre estudos diversos (Batjes, 1996). No Reino Unido, por exemplo, utiliza-se como limite superior da AD a tensão de 5 kPa; na Holanda o valor é 10 kPa; nos Estados Unidos, usa-se 10 kPa para solos arenosos e 33 kPa para os demais solos (Cassel; Nielsen, 1986; Batjes, 1996).

2.1. Limite superior

A capacidade de campo corresponde ao volume máximo de umidade que o solo pode reter após drenar o seu excesso. Isso se verifica quando o movimento descendente da água no solo, previamente saturado pela água da chuva ou de irrigação, torna-se praticamente “desprezível”, dentro de 2 a 3 dias, em solos de textura e estrutura uniformes com a profundidade (Veihmeyer; Hendrickson, 1950). Entretanto, em alguns solos, especialmente nos mais argilosos e pouco permeáveis, não existe uma nítida transição da variação de umidade significativa para a considerada “desprezível”, conforme verificado por Romano e Santini (2002). Já em solos arenosos, esse nível mínimo de variação de umidade pode ser atingido em menos de 18 horas (Araújo Filho et al., 2007; Zettl et al., 2011). Daí a imprecisão do conceito de capacidade de campo, uma vez que a água se move continuamente no perfil de solo, sempre procurando o estado de menor potencial, sem interrupções abruptas ou níveis estáticos. De fato, existe um certo período de tempo em que a taxa de drenagem pode ser considerada “desprezível” ou mínima. Em consequência, haverá um certo período em que se pode determinar vários pontos na curva representativa das variações do conteúdo de água no solo, ao longo do tempo, que atendem ao conceito estático da CC. Portanto, é importante destacar que na avaliação da CC, implicitamente, são envolvidas condições de contorno subjetivas, sobretudo no tocante ao atingimento da

drenagem considerada “desprezível”, isto é, o momento para se determinar o conteúdo de água no solo representativo da CC.

No laboratório são utilizadas diversas alternativas de análises indiretas para estimar a umidade correspondente à CC. Por exemplo, o equivalente de umidade que usa centrifugação com uma força 1000 vezes a da gravidade (Briggs; Shantz, 1912a, 1912b; Hendrickson; Veihmeyer, 1945; Veihmeyer; Hendrickson, 1950; Ruiz et al., 2003) é utilizado para estimar a umidade residual na tensão de 33 kPa (Richards; Weaver, 1944). Outros estudos estimam a CC por meio da umidade da amostra em equilíbrio com os potenciais de 6 kPa a 33 kPa (Lal, 1978; Veihmeyer; Hendrickson, 1950; Ratliff et al., 1983; Leenhardt et al., 1994; Nachabe, 1998). Para solos de textura arenosa utilizam-se as tensões de 5 kPa ou 10 kPa (Kern, 1995).

Nas condições de clima tropical e subtropical do Brasil, onde predominam solos muito intemperizados, tem se constatado que as análises indiretas que melhor estimam a CC ocorrem em tensões inferiores a 33 kPa, independentemente da textura do solo. Para as classes dos Latossolos e Argissolos, que são as de maior expressão geográfica, predominando em cerca de 60% do território nacional (IBGE, 2020), foram constatados valores da ordem de 5,5 kPa a 10 kPa (Marcos, 1971; Medina; Oliveira Junior, 1987; Moreira; Silva, 1987; Lumbreras, 1996; Ruiz et al., 2003; Oliveira, 2005; Oliveira et al., 2005; Klein et al., 2006; Andrade; Stone, 2011; De Jong van Lier; Wendroth, 2016). Para Cambissolos desenvolvidos a partir de substratos de calcário, valores na faixa de 5 kPa a 10 kPa foram os que melhor estimaram a CC (Araújo Filho, 1992; Lobato, 2018). Noutras classes de solos, incluindo Cambissolos, Gleissolos, Planossolos, Luvisolos e Neossolos Litólicos, foram verificados valores de laboratório ao redor de 6,6 kPa que melhor se correlacionaram ($R^2 = 0,90$) com a CC (Oliveira, 2005).

Em diversos solos cauliniticos do continente africano, valores de umidade após equilíbrio com as tensões de 6 kPa a 10 kPa (Pidgeon, 1972; Lal, 1978) foram os que melhor estimaram a CC. Na Zâmbia, em condições climáticas similares às do Brasil, foi verificado que a tensão de 10 kPa é a que melhor estima a CC ($r = 0,97$) desde solos arenosos até argilosos, incluindo Latossolos, Cambissolos, Neossolos e Vertissolos (Maclean; Yager, 1972).

Nos Estados Unidos da América, medidas do conteúdo de água em amostras equilibradas na tensão de 33 kPa, de diferentes e contrastantes classes

de solos de todo território, subestimaram a CC obtida por método direto na faixa de textura arenosa até a média e foram significativamente superiores na faixa de textura argilosa e siltosa (Ratliff et al., 1983). Porém, em solos de textura média e siltosa, da região de Dakota do Norte, a tensão de 10 kPa mostrou melhor correlação com a CC (Haise et al., 1955). Na França foi verificado que, para qualquer faixa de textura e em diferentes classes de solos, a melhor tensão para estimar a CC é 10 kPa (Al Majou et al., 2008). Em vista do exposto, corrobora-se a assertiva anterior de que a tensão utilizada nos laboratórios para estimar a CC é um assunto em debate até os dias atuais.

2.2. Limite inferior

O limite inferior da AD corresponde ao PMP que é o teor de água do solo quando as plantas que nele crescem adquirem um estado de murcha permanente, não voltando à turgidez mesmo quando colocadas em ambiente saturado com água (Briggs; Shantz, 1911, 1912a, 1912b; Haise et al., 1955). Desde muito tempo foi observado que esse teor de água se correlaciona com a medida indireta de laboratório quando as amostras são equilibradas na tensão aproximada de 1500 kPa (Richards; Weaver, 1944). Oliveira e Martins (1966) e Costa et al. (1997) também constataram essa relação em solos do Brasil. Por sua vez, Klein et al. (2006) estudando apenas de um tipo de solo (Latosolo Vermelho), observaram que os valores de umidade no PMP pelo método indireto foram significativamente maiores do que aqueles obtidos pelos métodos fisiológicos estudados. Outros estudos destacaram que plantas de diferentes fisiologias respondem de forma diferenciada à falta de umidade no solo (Kiehl, 1979; Boedt; Verheye, 1985). Por sua vez, Briggs e Shantz (1912a, 1912b) mostraram que, em relação ao teor de água no PMP, muitas espécies apresentam, apenas, ligeiras diferenças entre si. Já, segundo Hendrickson e Veihmeyer (1945), o PMP não é apenas um ponto, mas uma faixa de umidade na qual o PMP ocorre. No entanto, a retenção de água no solo em baixos valores de potencial matricial (dentro da região seca) é tal que, para praticamente todos os solos, os valores do conteúdo de água variam muito pouco, mesmo para mudanças relativamente grandes no potencial matricial próximo a -1500 kPa. Por isso, o conteúdo volumétrico de água do solo neste potencial pode ser considerado adequado para representar o PMP (Jamison; 1956; Romano; Santini, 2002). Apesar das restrições obser-

vadas em relação a esse parâmetro, o uso da tensão de 1500 kPa continua sendo utilizado até os dias atuais para a sua estimativa.

2.3. Fatores que afetam a água disponível

A água armazenada no solo e disponível às plantas depende de vários fatores ambientais relacionados ao sistema solo-água-plantas (Jamison, 1956; Reichardt, 1978). Com relação ao solo, os fatores mais importantes que influenciam na AD são: (1) textura (granulometria); (2) agregação; (3) fases minerais cristalinas da fração argila; (4) fases minerais não cristalinas; (5) matéria orgânica; (6) sais solúveis e sódio trocável; (7) frações grossas (> 2 mm); (8) camadas com propriedades contrastantes no perfil de solo; e (9) lençol freático próximo à superfície. Em adição a esses fatores, também será destacada a influência de métodos indiretos nas estimativas da AD, pois estes constituem importantes fontes de variação deste parâmetro, podendo alcançar maior destaque do que mesmo a granulometria do solo.

Textura – No concernente à textura, quando observada de forma quantitativa se refere à granulometria. Neste contexto, pode-se afirmar que é o fator mais importante e determinístico para os valores da AD (Salter; Williams, 1965, 1969; Saxton; Rawls, 2006; Weil; Brady, 2017), além de ser uma das características mais estáveis do solo (Day, 1965; Moniz, 1972). A textura, quantitativamente, se refere à proporção relativa das frações granulométricas (≤ 2 mm), isto é, de areia (2,00 - 0,05 mm), silte (0,05 - 0,002 mm) e argila (< 0,002 mm) que compõe a massa do solo (Santos et al., 2015). Tais frações combinadas em diferentes proporções formam as classes de textura e a partir destas, os subgrupos e grupos texturais (Figura 1).

Em termos gerais, a AD aumenta significativamente das classes de textura arenosa até a média em função do aumento das frações finas (silte mais argila) e atinge o limite máximo nas classes de textura siltosa. A partir daí, como tendência geral, passa a ter um ligeiro decréscimo no sentido das classes de textura com predomínio da fração argila (Figura 2) (Lund, 1959; Salter; Williams, 1965; Weil; Brady, 2017). Isso acontece porque as curvas que delimitam a AD (CC e PMP) aumentam com taxas diferenciadas no sentido do aumento das frações finas. O PMP aumenta praticamente de forma linear com as frações finas (Lund, 1959) resultando no aumento de água não disponível às plantas em tensões muito altas (> 1500 kPa). Por outro lado, a curva da CC

crece quase linearmente da faixa arenosa para a média, atingindo o máximo nas classes siltosas (Salter; Williams, 1965, 1969; Costa et al., 2013) e, a partir daí, a taxa de crescimento é mínima, fazendo estreitar a faixa de AD.

Desconsiderando-se a agregação do solo e admitindo-se que o tamanho de poros da fração silte esteja na faixa de tamanho dessa fração (0,05 – 0,002 mm), então, dentro destas especificações, a porosidade teórica da referida fração permite armazenar água totalmente dentro da faixa de AD, entre as tensões de 60 kPa e 1500 kPa. Isso está em acordo com estudos de Shaykewich e Zwarich (1968) e Casini et al. (2012), considerando a relação $d \text{ (mm)} = 3/h \text{ (cm)}$ (Kiehl, 1979), onde “d” corresponde ao diâmetro de poros e “h” a altura de uma coluna de água exercendo uma sucção na amostra inicialmente saturada.

Na fração argila, isoladamente, a sua parte mais grossa (0,002 – 0,0002 mm) (Gee; Bauder, 1986) relaciona-se com uma porosidade teórica

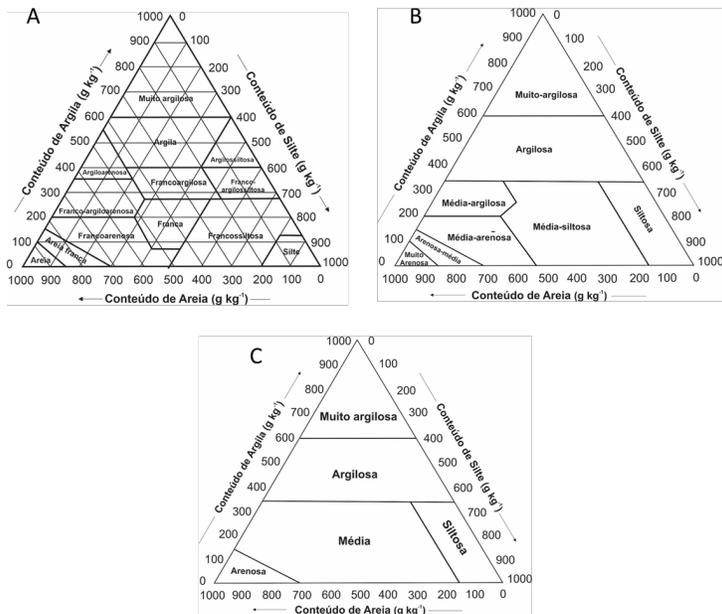


Figura 1. Diagramas mostrando classes da granulometria do solo em diferentes níveis de generalização. a) classes texturais; b) sub-grupamentos texturais; e c) grupamentos texturais.

Fonte: Santos et al. (2015, 2018).

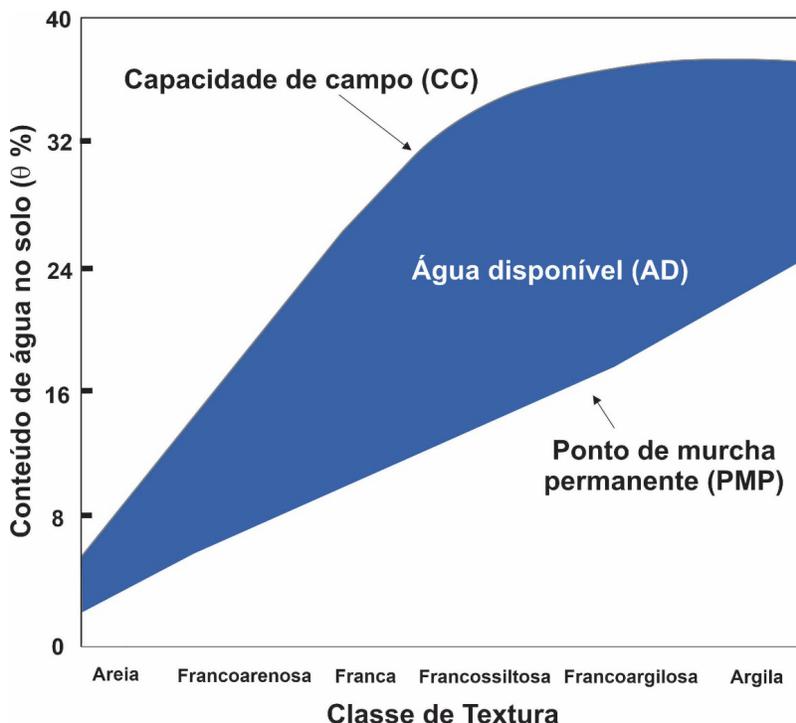


Figura 2. Relações gerais entre a água disponível (% vol.) e algumas classes texturais do solo.

Fonte: Adaptado de Weil e Brady (2017).

que retem água em tensões próximas ao PMP (1500 kPa) (Reeve et al., 1973). Por sua vez, a parte fina da fração argila (< 0,0002 mm) (Gee; Bauder, 1986), teoricamente, retem água em tensões muito mais altas (> 1500 kPa) devido às elevadas forças matriciais.

A fração areia (total), ao contrário das frações finas, correlaciona-se negativamente com a retenção de água (Lund, 1959; Petersen et al., 1968a), pois proporciona uma porosidade favorável à sua drenagem no solo. Entretanto, cabe destacar que teores elevados da fração areia muito fina (0,1 mm a 0,05 mm) (Gee; Bauder, 1986; Salter; Williams, 1969) em solos arenosos permitem aumentar significativamente a retenção de água no solo em tensões baixas (≤ 6 kPa), conforme observado nos estudos de Parahyba

(2013) e Torres (2017). Por isso, correlaciona-se positivamente com a AD (Shaykewich; Zwarich,1968; Salter; Williams, 1969).

Em síntese, em texturas nas classes arenosas (areia e areia franca) (Figura 1A), o predomínio da fração areia favorece à drenagem, ficando pouca água retida na CC; na faixa de textura média e siltosa (Figura 1C), a porosidade do solo favorece a retenção de água entre a CC e o PMP, de modo que se atinge a AD máxima na faixa siltosa; já na faixa de textura argilosa a muito argilosa (Figura 1C), o predomínio da fração argila favorece uma porosidade muito fina que retém água em altas tensões, com valores ao redor ou mesmo muito superiores ao PMP, diminuindo a AD em relação à faixa siltosa. Valores estimados de AD em função de classes de textura do solo são apresentados na Tabela 1.

Agregação - Em tensões ≤ 33 kPa, o comportamento geral da retenção de água em função da textura pode ser substancialmente modificado em solos com agregação bem desenvolvida (Sharma; Uehara,1968; Das; Gupta, 1987). Estudos de Sharma e Uehara (1968), em Latossolos do Haváí, mostraram que a retenção de água se modifica substancialmente tanto em função do tamanho dos agregados como da sua organização interna pois, condiciona, respectivamente, a porosidade entre e dentro dos mesmos.

Conforme Sharma e Uehara (1968) e Das e Gupta (1987), a retenção de água em baixas tensões aumenta com a diminuição do tamanho dos agregados estáveis (< 2 mm) no solo. Porém, se a composição granulométrica dos diferentes agregados for diferenciada, o comportamento da retenção de água também será modificado em função da sua composição granulométrica (Amemiya, 1965). Na região Nordeste do Brasil, Araújo Filho (1992) demonstrou que Cambissolos argilosos e muito argilosos desenvolvidos de rochas calcárias e com forte microagregação retêm valores significativos de água em baixas tensões. Nestes solos o referido autor constatou que cerca de 35 a 54% da AD fica retida na faixa de tensão entre 10 kPa e 33 kPa. Por isso, em solos que desenvolvem forte agregação, o comportamento da retenção de água não pode ser previsto com boa acurácia considerando, apenas, a textura isoladamente (Sharma; Uehara,1968; Williams et al., 1983). Nas condições tropicais do Brasil, solos que desenvolvem agregados em grau forte, com tamanho pequeno a muito pequeno (< 2 mm) e na forma granular (microagregados) são, comumente, da classe dos Latossolos (Carducci et al.,

Tabela 1. Estimativa de água disponível (AD) em função de classes texturais do solo.

Classe de textura	AD (mm cm ⁻¹) e fontes consultadas				
	Saxton e Rawls (2006) (33-1500 kPa)	Petersen et al. (1968a) (33-1500 kPa)	Ratiff et al. (1983) (33-1500 kPa)	Rawls e Pachepsky (2002) (33-1500 kPa)	Bruand et al. (2004) (10-1500 kPa)
Areia	0,5	0,40	0,56	0,68	0,60
Areia franca	0,7	0,75	1,16	0,94	-
Francoarenosa	1,0	1,31	1,16	1,21	1,28
Franca	1,4	1,34	1,14	1,56	1,48
Francossiltosa	2,0	1,79	1,86	1,90	1,87
Silte	2,5	1,70	2,54	2,63	2,22
Franco-argiloarenosa	1,0	1,04	1,13	1,14	1,30
Francoargilosa	1,4	1,15	1,38	1,47	1,07
Franco-argilossiltosa	1,7	1,45	1,41	1,59	1,41
Argilossiltosa	1,4	1,21	1,32	1,31	-
Argiloarenosa	1,1	-	-	1,01	1,58
Argila ⁽¹⁾	1,2	1,10	1,23	1,30	1,31

⁽¹⁾Essa classe de textura engloba as classes argila e muito argilosa adotadas no Brasil (Santos et al., 2015).

2012), particularmente os ácricos, férricos e perférricos (Reunião..., 1988; Ferreira et al., 1999), bem como alguns solos desenvolvidos a partir de rochas calcárias (Araújo Filho, 1992).

Fases minerais cristalinas da fração argila – Os argilominerais afetam aspectos físicos, químicos, físico-químicos, físico-hídricos e físico-mecânicos dos solos (Gaiser et al., 2000; Mile; Mitkova, 2012). No que se refere a parte físico-hídrica, Thomas e Moody (1962) e Hong et al. (2013) mostraram efeitos marcantes da mineralogia envolvendo esmectitas, vermiculitas e caulinitas, na retenção de água em tensões ao redor de 33 kPa. No PMP os mencionados autores não constataram diferença significativa na retenção de água em solos com essa mineralogia. Thomas e Moody (1962) também verificaram que a retenção de água decresce quando as argilas estão saturadas com cátions na seguinte ordem: Na, Ca, Al. Segundo Mile e Mitkova (2012), os argilominerais expansíveis (esmectitas e vermiculitas) são os que possuem grande capacidade de retenção de água. Conforme Hong et al. (2013), solos com argila de atividade média para alta ($CTC > 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) possuem maior capacidade de armazenamento de água em relação aos de atividade baixa. Em solos com presença marcante de esmectita, como determinados Vertissolos, constatou-se valores de AD com mediana ao redor de $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$ (Batjes, 1996).

Williams et al. (1983), ao estudar solos australianos, verificaram que a illita não impactou na retenção de água nos solos. Por sua vez, Petersen et al. (1968a), não constataram correlação significativa entre a capacidade de retenção de água e a porcentagem de caulinita, illita, vermiculita, clorita, esmectita e minerais interestratificados em solos francossiltosos.

Com relação aos óxidos de ferro (Fe_2O_3), estudos conduzidos por Prebble e Stirk (1959) não confirmaram efeitos desses óxidos na retenção de água na faixa de tensão entre 33 kPa e 1500 kPa em solos com teores de Fe_2O_3 inferiores a 11%. Infere-se que a falta de estudos em baixas tensões ($< 33 \text{ kPa}$), pelos citados autores, pode ter limitado a possibilidade de avaliar os efeitos dos óxidos na retenção de água no solo. Já Williams et al. (1983), no estudo de solos da Austrália, verificaram que os óxidos de ferro são importantes na discriminação de grupos de retenção de água. Nas condições tropicais do Brasil, estudos com Latossolos argilosos mostraram que teores muito elevados dos óxidos de ferro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$) podem até atuar restringindo a AD (Reunião..., 1988).

Fases minerais não cristalinas (“amorfos”) – Esses constituintes na forma de aluminossilicatos, óxidos e hidróxidos de alumínio, mesmo em pequena quantidade na fração argila, merecem ser destacados. Eles constituem uma fração muito ativa que afeta tanto a parte física como a química de solos (Wada; Harward, 1974; Huang, 1991). No concernente a parte física, podem atuar no sentido de diminuir a densidade e, sobretudo, aumentar significativamente a capacidade de retenção de água dos solos (Wada; Harward, 1974; Wada, 1989; Hong et al., 2013). Na Amazônia Ocidental brasileira, especialmente a partir de sedimentos da Formação Solimões, são encontrados solos com alto conteúdo de alumínio trocável (extraído com KCl 1 mol L⁻¹) e com a presença significativa de fases minerais não cristalinas (Gama, 1986; Gama et al., 1992; Johas et al., 1997; Cunha et al., 2015). No estado do Acre, cujas maiores extensões são dominadas por sedimentos da Formação Solimões, foram constatados teores de “amorfos” na faixa de 4,2% a 39,6% (Gama, 1986; Johas et al., 1997). Em áreas sedimentares da região úmida costeira do Nordeste brasileiro, onde ocorrem solos com alto conteúdo de alumínio trocável (Cunha et al., 2015), também foram constatados aluminossilicatos “amorfos” em percentuais relativamente elevados, da ordem de 8% a 14% (Gomes, 1985). Em ambos os casos, a característica marcante da presença de “amorfos” é a alta capacidade de retenção de água dos solos (Gomes, 1985; Gama, 1986; Johas et al., 1997). No caso particular do Acre, em solos argilosos a muito argilosos com a presença de “amorfos” e com elevados teores de silte (Gama, 1986; Gama et al., 1992; Reunião..., 2013; Kotlar et al., 2020), foram constatados valores da AD (10 kPa – 1500 kPa) na faixa de 2,8 mm cm⁻¹ a 3,3 mm cm⁻¹ (Johas et al., 1997). Em Andossolos, que são solos com presença marcante de amorfos, estudados de Batjes (1996) a partir de uma base de dados global, mostraram valores de AD (33 kPa – 1500 kPa) na faixa de 1,6 a 1,9 mm/cm). Na região da Coreia do Sul, Hong et al. (2013) encontraram valores de AD (10 kPa – 1500 kPa) em torno de 2,9 mm/cm para essa mesma classe de solo.

Matéria orgânica – O efeito da matéria orgânica sobre a CC e o PMP é relativamente pouco estudado e controvertido (Bouyoucos, 1939; Rawls et al., 2003; Olness; Archer, 2005). Em termos gerais, existem três linhas de opinião. Uma delas é que a matéria orgânica aumenta substancialmente a CC dos solos minerais; a outra é que o aumento se dá de forma semelhante na CC e no PMP, praticamente não alterando a AD dos solos; e a última é que a matéria

orgânica não possui um papel importante na retenção de água nos solos minerais. Resultados experimentais de Bouyoucos (1939) com diversos solos (de arenosos a argilosos) e diferentes fontes de matéria orgânica, mostraram que a influência é marcante na faixa de textura arenosa, concordando com estudos de Rawls et al. (2003), e vai decrescendo no sentido das texturas mais finas. Segundo Shaykewich e Zwarich (1968), a matéria orgânica na faixa média de 1% a 4%, em solos de arenosos a argilosos, além de influenciar na densidade do solo, constitui um dos componentes determinísticos da CC e do PMP, obtidos por métodos diretos, aumentando a AD. Na mesma direção, Hollis et al. (1977), Hudson (1994) e Dharumarajan et al. (2013) encontraram que uma grande proporção nas variações da AD do solo é função do conteúdo do carbono orgânico o qual pode explicar até quase 50% das variações deste parâmetro.

Olness e Archer (2005), mostraram uma relação complexa entre a retenção de água e o teor de carbono orgânico dependendo da textura e do teor inicial do elemento. Esses autores constataram que ao se aumentar 1% no carbono orgânico do solo tem-se um incremento de 2,5% a 5% na AD em solos com menos de 40% de argila. Já nos estudos de Danalatos et al. (1994) os resultados indicaram pouca relevância da matéria orgânica o que foi atribuído aos seus baixos teores (0,02% a 2,94%). Recentemente, Minasny e McBratney (2018) mostraram que o aumento de carbono orgânico no solo resulta em um pequeno incremento no conteúdo de água no mesmo. Na visão desses autores o efeito da matéria orgânica na AD é incerto e pode estar sendo superestimado.

Sais solúveis e sódio trocável – Em regiões áridas e semiáridas tanto ocorre solos naturalmente afetados por sais como aqueles induzidos pelo manejo da irrigação. No solo, os efeitos negativos da salinização incluem: a desagregação, o aumento da densidade do solo, o aumento das forças de retenção de água e a redução de taxas de infiltração de água (Jayawardane; Chan, 1994; Summer; Naidu, 1998; Dias; Blanco, 2010). Cabe destacar que o efeito mais marcante da presença de sais na solução do solo é o aumento da pressão osmótica dificultando a extração de água pelas plantas. Na medida em que essa pressão aumenta, a retirada de água do solo torna-se cada vez mais difícil, podendo atingir níveis em que as plantas não terão mais forças de sucção para superar essa pressão e, em consequência, não poderão mais absorver água. Em níveis extremos de salinidade, as plantas até podem perder parte do seu conteúdo de água para o solo (Dias; Blanco, 2010).

Em condições normais, a AD pode ser estimada no laboratório, por exemplo, na faixa de potencial matricial (Ψ_m) de -10 kPa a -1500 kPa. Porém, esse intervalo torna-se mais estreito em função da presença de sais (Costa, 1938; Breazeale; McGeorge, 1955; Jayawardane; Chan, 1994; Grant; Groenevelt, 2019), sendo o efeito mais pronunciado na CC do que no PMP (Costa, 1938; Saxton; Rawls, 2006; Dias; Blanco, 2010). Conforme Dias e Blanco (2010), em um solo salino de textura média com valor de condutividade elétrica (CEe) de 4 dS m⁻¹, quando a umidade do solo atinge a CC, a CEe duplica (CEe ≈ 8 dS m⁻¹) e no PMP, quadruplica (CEe ≈ 16 dS m⁻¹) devido ao efeito da concentração de sais. Deste modo, o potencial osmótico obtido pela equação $\Psi_o = -36 \times \text{CEe}$ (Ψ_o em kPa; CEe em dS m⁻¹) (Dias; Blanco, 2010) na CC será de -288 kPa e no PMP, de -576 kPa. Em consequência, o potencial total (Ψ_t) da água no solo ($\Psi_t = \Psi_m + \Psi_o$) será de -298 kPa na CC e, teoricamente, de -2076 kPa no PMP. Deste modo, o impacto da salinidade é de cerca de 97% do potencial total na CC e de, apenas, 28% no PMP. Por isso, quanto maior o conteúdo de água no solo, maior o efeito do potencial osmótico (Sheldon et al., 2017). Entretanto, é importante destacar que devido ao efeito da salinidade, o PMP é alcançado em um nível de umidade superior ao do solo em condições normais (Costa, 1938; Groenevelt et al., 2004; Grant; Groenevelt, 2019). Desta forma, o PMP é atingido quando o potencial osmótico mais o potencial matricial somarem cerca de -1500 kPa.

Conforme informações disponíveis nos trabalhos de Ayers e Westcot (1976), Warrence et al. (2002) e Groenevelt et al. (2004), a redução na AD devido ao efeito da salinidade em condições específicas para um solo de textura média (francoargilosa), fica em torno de 15% para solos na condição salina (CEe de 4 dS m⁻¹ a 7 dS m⁻¹), alcança valores no entorno de 30% para solos sálcos (CEe de 7 dS m⁻¹ a 20 dS m⁻¹) e atinge cerca de 50% ou mais para solos com salinidade muito elevada (CEe > 20 dS m⁻¹). Entretanto, cabe ressaltar que nos estudos de Ayers e Westcot (1985) constam reduções de AD, em função da salinidade, com valores menores do que aqueles reportados por Ayers e Westcot (1976).

No caso de solos sódicos, Shaw et al. (1994) sugerem redução na AD em torno de 15% para solos com percentual de sódio trocável (PST) na faixa de 6% a 15% e redução em torno de 30% para solos com PST na faixa de 15 a 25%. Em altos níveis de PST (> 25%), estudos de Jayawardane e Chan (1994) indicam que a AD pode ser reduzida em valores da ordem de até 60%.

Frações grossas - A presença de frações grossas (> 2 mm) constitui um problema para o cálculo do conteúdo da água no solo na base de volume, assim como também para determinação da densidade do mesmo (Reinhart, 1961). A retenção de água decresce à medida em que as frações grossas aumentam no solo (Petersen et al., 1968b) e, por isso, são necessários ajustes nos cálculos da AD. Caso estas frações não forem consideradas, a AD será superestimada (Cousin et al., 2003). Para contornar o problema, Reinhart (1961) sugere determinar, separadamente, o conteúdo de água nas frações finas e depois efetuar o cálculo de AD considerando o volume e o conteúdo de água nas frações grossas.

Conforme Petersen et al. (1968b), pode-se determinar a AD ajustada para o volume total do solo por meio da fração fina (< 2 mm) utilizando valores de CC e PMP em porcentagem na base de massa, por meio da fórmula: $AD = [(CC - PMP) \times D_s \times (\% \text{ frações } < 2 \text{ mm})] / 100$, sendo D_s a densidade do solo (g cm^{-3}) e AD a água disponível (em % vol.). Nos solos estudados por Petersen et al. (1968b), observa-se que até 15% de frações grossas, praticamente, não afeta a AD; com 15% a 50% de frações grossas, a AD mostrou redução na faixa média de 15%; e para valores de 50% a 70% de frações grossas, a redução média na AD foi da ordem de 30%. No entanto, estudos de Cousin et al. (2003) mostraram uma redução média da ordem de 50% nos valores de AD em horizontes de solos com fragmentos de calcário ocupando cerca de 57% do seu volume.

Cabe destacar que, nem toda fração grossa tem a mesma influência na diminuição da AD, uma vez que este parâmetro depende de vários fatores em relação as citadas frações, tais como: (1) natureza das frações; (2) volume das frações; (3) tamanho e porosidade dos fragmentos; e (4) posição dos fragmentos no perfil de solo (Cousin et al., 2003). Fragmentos de arenitos podem conter cerca de 11% de AD e pelitos, ao redor de 23% (Hanson; Blevins, 1979). Já em fragmentos de calcário foram observados valores de AD na faixa de 6% a 25% (Cousin et al., 2003).

Camadas no perfil de solo – A sequência de horizontes e/ou camadas no perfil de solo com atributos muito contrastantes entre si influencia significativamente na retenção de água, podendo a AD atingir até o dobro em comparação a um solo uniforme em profundidade (Miller; Bunger, 1963; Unger, 1971; Miller, 1973; Zettl et al., 2011). Este efeito ocorre devido à quebra

de continuidade da porosidade entre os horizontes/camadas (Miller, 1973; Zettl et al., 2011). Estudos de Zettl et al. (2011) mostram que não apenas em solos estratificados por descontinuidade litológica, mas também naqueles com heterogeneidade textural pedogenética, há um aumento significativo no conteúdo de água na CC. Conforme o SiBCS (Santos et al., 2018), os solos com sequência de horizontes e/ou camadas com atributos relativamente contrastantes comumente pertencem às classes dos Neossolos Flúvicos, Cambissolos Flúvicos, Gleissolos, Planossolos e solos abrupticos vigentes em diversas classes de solos.

Lençol freático – Os solos desenvolvidos em ambientes com presença de lençol freático elevado (Gleissolos, Plintossolos etc.) podem ter sua AD modificada substancialmente (De Jong et al., 1984), ainda que de forma temporária, em função da ascensão capilar da umidade no perfil de solo. Conforme estudos de Kahlow et al. (2005), a contribuição da umidade para diversas culturas ocorre quando o lençol freático se faz presente oscilando dentro de 1,5 m de profundidade. Rumball (1978), Scotter (1989) e Price (1997) estudando solos arenosos observaram uma grande contribuição da umidade do lençol freático dentro do primeiro metro da superfície. Estes autores constataram que o conteúdo de água no solo acima do nível do lençol pode atingir valores que superam o dobro da CC. Entretanto, em solos argilosos este incremento pode não atingir tais proporções (Van Hoorn, 1958; Baker et al., 2004). Em qualquer caso, a presença de lençol freático no perfil do solo condiciona o aumento significativo da AD em relação ao período sem o mesmo.

Métodos de análise indiretos – Existem várias fontes de variação que afetam os resultados de AD obtidos por métodos laboratoriais. Entre as principais citam-se: a tensão selecionada para equilíbrio com a água retida na amostra de solo; a natureza da amostra (deformada ou indeformada); e o tempo de equilíbrio para análise do conteúdo de água na amostra. Entre essas fontes de variação, destacam-se a tensão utilizada e a natureza da amostra. Quando se utiliza a tensão de 33 kPa como limite superior da AD em solos muito intemperizados, como é o caso de muitos solos brasileiros, a AD é significativamente subestimada. Em Latossolos foram verificadas subestimativas na AD da ordem de 52% (Reunião..., 1988) e em Cambissolos desenvolvidos de rochas calcárias, ao redor de 45% (Araújo Filho, 1992). No caso de Argissolos dos Tabuleiros Costeiros, no Nordeste do Brasil, a subes-

timativa média observada foi da ordem de 80% nos horizontes superficiais mais arenosos e cerca de 50% nos horizontes subsuperficiais com textura na faixa de média para argilosa (Moreira; Silva, 1987). Na Amazônia ocidental, em solos ricos na fração silte, a subestimativa média observada foi da ordem de 50% (Kotlar et al., 2020). Já em solos abrangendo todas as faixas de texturas, Salter e Williams (1965) observaram uma subestimativa média ao redor de 40%.

Com relação à natureza da amostra, verifica-se que as deformadas produzem, em geral, valores de AD mais elevados em relação às amostras não deformadas. Em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil foram observados valores mais elevados, da ordem de 38%, em relação às amostras não deformadas (Moreira; Silva, 1987). Já em Latossolos da Amazônia, com textura muito argilosa, o aumento médio da AD nas amostras deformadas foi de 18% (Medina; Oliveira Junior, 1987). Resultados de Salter e Williams (1965), em solos de textura média com amostras deformadas, mostraram um aumento da AD ao redor de 25% ao se comparar com amostras não deformadas. No estudo de Cambissolos argilosos e muito argilosos desenvolvidos a partir de rochas calcárias, Araújo Filho (1992) verificou um aumento na AD em torno de 27% nas amostras deformadas.

O uso da tensão de 33 kPa para estimativa do limite superior da AD produz um impacto substancial, reduzindo a estimativa deste parâmetro por volta de 53%. Todavia, o uso de amostras deformadas pode aumentar a AD numa média de 27%. Ao se observar como referencial o coeficiente de variação (CV) da capacidade de água disponível de solos em todas as faixas de textura do globo terrestre, com valor médio ao redor de 43% (Leenhardt et al., 1994; Batjes, 1996), nota-se que a utilização de amostras deformadas produz um incremento na AD (27%) bem abaixo do CV geral (43%). Por outro lado, quando se utiliza a tensão de 33 kPa, ao invés de 10 kPa, para estimar o limite superior da AD, esta fica reduzida em uma média de 53%, ultrapassando os limites do CV geral (43%). Por isto, a escolha da tensão para estimar a CC no laboratório deve ser muito cautelosa.

2.4. Estimativa de retenção de água com informações taxonômicas de solo

Desde mais de um século (Briggs; Shantz, 1912a, 1912b; Gupta; Larson, 1979; Ahuja et al., 1985; Kravchenko; Zhang, 1998) até os dias atuais (Kern, 1995; Gaiser et al., 2000; Medrado; Lima, 2014; Yu et al., 2021) são feitas estimativas de retenção de água do solo por meio de equações, atualmente conhecidas como funções de pedotransferência (*PedoTransfer Function* - PTF). Porém, as variáveis preditoras têm sido focadas predominantemente em parâmetros físicos (granulometria e densidade do solo), complementadas com teores de carbono orgânico. Apenas uma pequena proporção das PTFs obtidas considera informações de atributos químicos dos solos (Cassel et al., 1983; Tomasella; Hodnett, 1998; Saxton; Rawls, 2006; Hong et al., 2013; Kotlar et al., 2020). Para avaliação do desempenho das predições, em geral, são feitas comparações entre valores medidos e estimados por meio de indicadores estatísticos como é o caso do erro médio (ME) e da raiz do erro quadrático médio (RMSE) (Wösten et al., 2013) entre outros.

Cabe destacar que, as classes taxonômicas de solos congregam simultaneamente informações de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, característicos de cada classe de solo, conforme o sistema taxonômico considerado. Por isto, ao se alocar certa classe de solo numa regressão, implicitamente está se informando este conjunto de características associadas à mesma. Destaca-se que as informações das classes de solos contribuem, dentre outros aspectos, para predição de retenção de água e, por conseguinte, oferecem informações para melhoria de PTFs (Rawls et al., 2003). Observando, por exemplo, a classe dos Vertissolos (Santos et al., 2018), significa dizer que ela congrega solos argilosos a muito argilosos, com alta influência de minerais expansíveis, muito baixa permeabilidade, alta capacidade de retenção de água e valores médios de AD variando de $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,5 \text{ mm cm}^{-1}$ (Lyra, 1993; Batjes, 1996; Mile; Mitkova, 2012).

Rawls et al. (2003), quando utilizaram informações taxonômicas em modelos de predição de retenção de água, verificaram que houve uma melhoria nas estimativas da ordem de 10% a 20% em comparação com outros modelos embasados apenas na textura do solo, corroborando observações de Tóth et al. (2012).

2.5. Mapeamento de água disponível

Apesar da importância do conhecimento dos valores de AD para agricultura, assim como em relação aos ecossistemas terrestres, são poucos os estudos dedicados ao seu mapeamento (Hong et al., 2013; Wösten et al., 2013). Isto se deve, possivelmente, às seguintes razões: (i) falta de informações de parâmetros físico-hídricos de solos em extensão territorial e escalas compatíveis aos objetivos pretendidos; (ii) elevado custo e dificuldades inerentes aos métodos de campo e laboratório para obtenção destes parâmetros; e (iii) onde existem levantamentos de solos disponíveis, nem sempre se dispõe de informações destes parâmetros em quantidade e qualidade suficientes para o mapeamento da AD. Por isto, os poucos estudos desenvolvidos com este propósito têm a necessidade de utilizar e/ou desenvolver PTFs para estimativa de informações necessárias ao mapeamento da AD ou para complementar informações existentes (Bouma et al., 1980; Batjes, 1996; Zhou et al., 2005; Hong et al., 2013; Wösten et al., 2013). Sobretudo nos mapeamentos da CAD em grandes extensões territoriais, as PTFs tem sido as ferramentas principais (De Jong; Shields, 1988; Kern, 1995; Batjes, 1996; Zhou et al., 2005; Malone et al., 2009; Piedallu et al., 2011; Hong et al., 2013; Wösten et al., 2013).

Nos Estados Unidos, Kern (1995) gerou o mapa da capacidade de água disponível (CAD) da área total do país por meio de estimativas da AD (33 kPa – 1500 kPa) considerando informações do mapa de solos do mundo na escala 1:7.500.000. No Canadá, De Jong e Shields (1988) elaboraram mapas da CAD de Alberta, Saskatchewan e Manitoba na escala 1:1.000.000 com base nas relações entre classes de textura e a CAD, sendo a AD calculada na faixa de tensão de 33 kPa a 1500 kPa. Na China, com cerca de 9.600.000 km², Zhou et al. (2005) elaboraram um mapa da CAD na escala 1:4.000.000 com o apoio de um mapa de solos na mesma escala. Estes autores fizeram estimativas da AD em função de propriedades físicas e do carbono orgânico dos solos e realizaram a espacialização da CAD por meio de SIG. Em nível continental, Batjes (1996) produziu um mapa da CAD do continente africano com valores de AD (33 kPa a 1500 kPa) estimados para três grupamentos de classes de textura: grossa (< 18% argila e > 65 de areia), média (< 35% de argila e < 65% de areia) e fina (> 35% de argila) em função das unidades de solos do mapa mundial (FAO, 1974). Na Austrália, Malone et al. (2009) utilizaram modelagens sofisticadas para mapeamento de estimativas da CAD (sem especificar o intervalo da AD) de uma área de 1500 km², conside-

rando variações verticais de perfis de solo por camadas (“*spline depth functions*”) e variações laterais por *Digital Soil Mapping* (DSM). Piedallu et al. (2011) fizeram estimativa de CAD do território da França (550.000 km²) com a espacialização por métodos geoestatísticos, considerando a AD na faixa de tensão de 33 kPa a 1500 kPa. Hong et al. (2013) realizaram o mapeamento da CAD na Coreia do Sul (100.000 km²) com uso de mapa de solo na escala 1:25.000 alocando valores da CAD de perfis modais das séries de solo em cada unidade de mapeamento (UM). No referido estudo, a AD foi calculada na faixa de tensão de 33 kPa a 1500 kPa. Dados faltantes de densidade do solo foram estimados por PTF.

No Brasil, recentemente foi publicado um mapa com resultados da CAD para todo território nacional (Agência Nacional de Águas, 2021) em função de uma base espacial pedológica na escala 1:250.000 (IBGE, 2020). Entretanto, os resultados foram estimados por meio de PTF, como é usual nos estudos internacionais que tratam de mapeamentos da CAD para grandes extensões territoriais. Por sua vez, Rossato (2002), elaborou um mapa muito generalizado da CAD dos solos do Brasil obtido com o apoio de PTFs e técnicas de “kriggagem”. Turek et al. (2020), também utilizando PTFs, realizaram estimativas e mapeamento da CC dos solos brasileiros.

3. Material e Métodos

A metodologia de trabalho constou de seis etapas principais, a saber: (1) aquisição de dados; (2) cálculo da AD por perfil de solo; (3) análises estatísticas; (4) organização do catálogo da AD; (5) modelagem de PTFs para predição da AD; e (6) elaboração do mapa da AD de solos do Brasil (Figura 3).

3.1. Base de dados espaciais

A primeira etapa dos trabalhos foi dedicada ao levantamento e a organização de informações de perfis de solos que contemplassem todas as treze ordens e a maioria das subordens taxonômicas (32 das 44 reconhecidas) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos *et al.*, 2018). Além disto, as informações selecionadas foram aquelas com dados físico-hídricos disponíveis para o cálculo de AD de perfis de solos provenientes de todas as regiões do País (Figura 4).

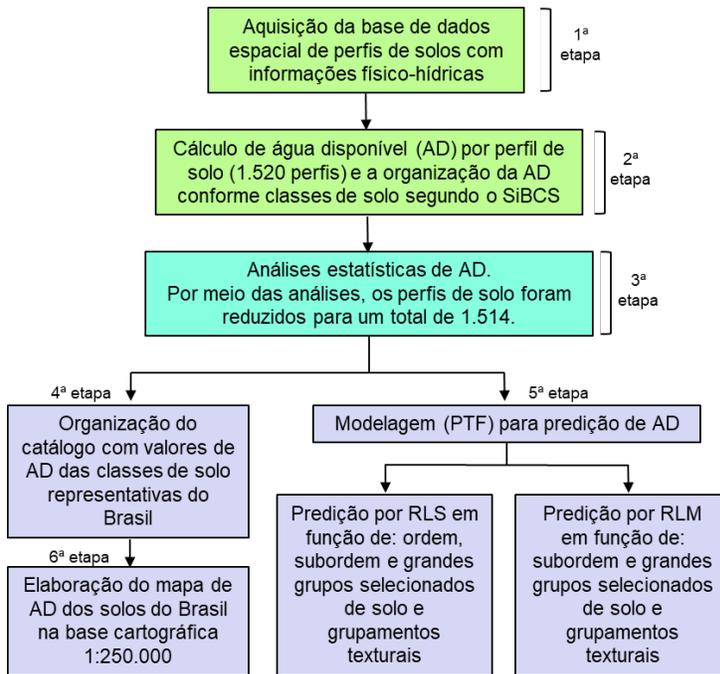


Figura 3. Fluxograma da metodologia de trabalho compartimentada em seis etapas. (RLS: regressão linear simples; RLM: regressão linear múltipla).

Foram utilizados dados de retenção de água relativos à CC (10 kPa) e ao PMP (1500 kPa) a partir de amostras não deformadas e deformadas. O uso de dados medidos (no laboratório e alguns poucos de CC no campo) viabilizou dispensar a utilização de PTFs para estimativas da CC e do PMP, exceto para alguns perfis de solos do estado do Acre. Também não se fez qualquer tipo de correção para o uso de amostras deformadas na tensão de 10 kPa conforme procederam Hong et al. (2013). Valores da AD de perfis de solos da RCC (Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos) do Acre foram estimados com uso das PTFs de Tomasella e Hodnett (1998). No caso específico dos solos da referida RCC, as PTFs de Tomasella e Hodnett (1998) se mostraram mais adequadas para estimativas da AD em relação as PTFs de Kotlar et al. (2020). Isto foi verificado ao se comparar resultados das mencionadas PTFs com dados calculados da AD de perfis solos do estado do Acre no mesmo roteiro da RCC (Gama, 1986; Johas et al., 1997).

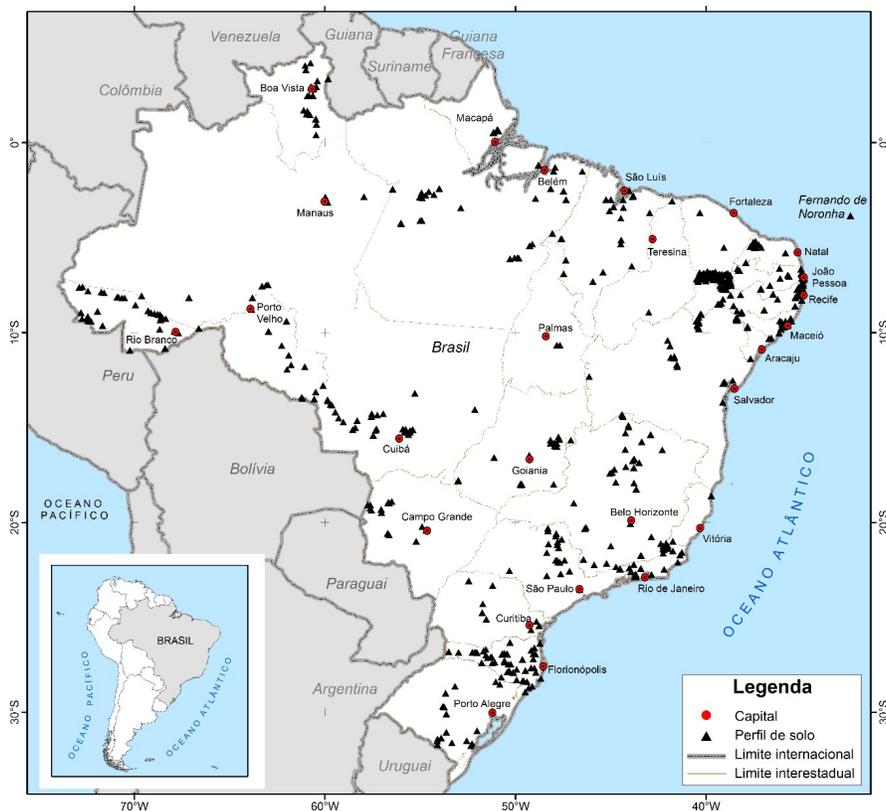


Figura 4. Mapa do Brasil indicando a localização dos perfis de solos utilizados no cálculo de água disponível (AD). Perfis utilizados que não dispunham de coordenadas geográficas não constam neste mapa.

Cabe destacar que, os valores de AD obtidos a partir de amostras deformadas de solos brasileiros poderão atingir um incremento da ordem de 27% em relação aos valores obtidos a partir de amostras não deformadas (Medina; Oliveira Junior, 1987; Moreira; Silva, 1987; Araújo Filho, 1992). Entretanto, esse aumento fica dentro do limite do coeficiente de variação (cerca de 43%) do conjunto de dados padronizados do inventário mundial (4.353 perfis de solo) em relação à retenção de água no solo (Batjes, 1996). Por conseguinte, é um valor considerado aceitável para o contexto do presente estudo, que visa gerar mapas de AD fundamentados em informações de grupamentos texturais disponíveis nas legendas dos mapas pedológicos.

Nesta etapa foram buscadas informações, sobretudo, de levantamentos de solos e das RCCs, complementadas com dados de Dissertações, Teses e artigos científicos. Também foram utilizadas informações de trabalhos de circulação restrita (não publicados), especialmente, dos levantamentos pedológicos detalhados de grandes projetos de irrigação atualmente em operação no vale do Rio São Francisco e de alguns guias de campo de RCCs. As principais fontes de informação, conforme as ordens de solo do SiBCS, constam na Tabela 2.

Após análise detalhada das fontes de dados, foram selecionados 1.520 perfis de solos para uso de informações da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e densidade do solo (Ds). Em raros casos, dados faltantes de Ds de alguns horizontes/camadas considerados relevantes foram estimados por meio da PTF de Benites et al. (2006). Os perfis de solos selecionados nesta etapa passaram por uma nova seleção durante as análises estatísticas.

Tabela 2. Bibliografia utilizada como suporte de dados para o cálculo de água disponível de classes de solos representativas do Brasil conforme o SiBCS (Santos et al., 2018).

Classe de solo	Fonte consultada
Argissolos	Grohmann e Medina (1962); Oliveira et al. (1968); Oliveira e Melo (1970); Ramos (1970); Jaccoud (1971); Oliveira e Melo (1971); Winkler e Goedert (1972); Oliveira e Queiroz (1975); Oliveira e Melo (1978); Congresso... (1979); Fontes e Oliveira (1982a); Reunião... (1983); Corrêa (1984); Gomes (1985); Oliveira e Alvarenga (1985); Gama (1986); Santos (1986); Moreira e Silva (1987); Silva (1989); Macedo (1991); Rodrigues et al. (1991); Lumbreras (1996); Cintra (1997); Johas et al. (1997); Oliveira Junior et al. (1997); Amaral e Araújo Neto (1998); Cintra e Libardi (1998); Fernandes (1998); Oliveira Junior et al. (1998a, 1998b); Reunião... (1998); Carlesso e Santos (1999); Carvalho et al. (1999); Araújo (2000); Melo e Amaral (2000); Silva (2000); Thurler (2000); Rodrigues et al. (2001); Ottoni Filho (2003); Cintra et al. (2004); Fontana et al. (2004); Ribeiro Filho et al. (2005); Araújo Filho et al. (2007); Fonsêca et al. (2007); Santos e Araújo Filho (2008); Lumbreras (2008); Pacheco e Cantalice (2011); Silva et al. (2011a); Costa (2012); Cruz (2012); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013a, 2013b); Melo (2013); Parahyba (2013); Ramos et al. (2013); Reunião...(2013); Santos et al. (2013); Andrade (2014); Delarmelinda (2015); Pequeno (2016); Ferreira et al. (2017); Batista et al. (2018); Lumbreras et al. (2019); Silva et al. (2020).
Cambissolos	Lima et al. (1978); Fontes e Oliveira (1982a); Reunião... (1983); Oliveira e Alvarenga (1985); Gama (1986); Palmieri (1986); Araújo Filho (1992); Lumbreras (1996); Fernandes (1998); Reunião... (1998); Melo e Amaral (2000); Marques (2004); Galindo (2007); Silva et al. (2007); Lumbreras (2008); Leal (2011); Costa (2012); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013a, 2013b); Serafim et al. (2013); Delarmelinda (2015); Santana (2015); Carducci et al. (2017); Silva (2018); Silva et al.(2018); Lumbreras et al. (2019).
Chernossolos	Fontes e Oliveira (1982a); Reunião... (1983, 1998); Melo e Amaral (2000); Costa (2012); Pereira et al. (2013); Silva et al. (2018).
Espodossolos	Congresso... (1979); Reunião... (1983, 1998); Ribeiro Filho et al. (2005); Carvalho (2011); Batista et al. (2018); Silva et al. (2020).
Gleissolos	Ramos (1970); Jaccoud (1971); Winkler e Goedert (1972); Fontes e Oliveira (1982a); Oliveira e Alvarenga (1985); Conceição (1989); Lumbreras (1996); Amaral e Araújo Neto (1998); Melo e Amaral (2000); Rodrigues et al. (2001); Medeiros et al. (2004); Lumbreras (2008); Leal (2011); Pereira et al. (2013); Ferreira (2014); Delarmelinda (2015); Santana (2015); Batista et al. (2018); Lumbreras et al. (2019); Silva et al. (2020).

Continua...

Tabela 2. Continuação

Classe de solo	Fonte consultada
Latossolos	Medina e Grohmann (1966); Oliveira e Queiroz (1975); Wolf e Soares (1976); Carmo (1977); Cavalcanti (1977); Cordeiro (1977); Oliveira e Melo (1978); Congresso... (1979); Embrapa (1981); Fontes e Oliveira (1982a); Reunião... (1983); Corrêa (1984, 1985); Palmieri (1986); Santos (1986); Reunião... (1988); Congresso... (1989); Silva (1989); Rodrigues et al. (1991); Andrade et al. (1992); Costa e Teixeira (1992); Alleoni e Camargo (1994); Lumbreras (1996); Oliveira Junior et al. (1997); Fernandes (1998); Oliveira Junior et al. (1998a, 1998b); Tormena et al. (1998); Carlesso e Santos (1999); Dias Junior e Estanislau (1999); Klein e Libardi (2000); Spera et al. (2000); Oliveira Junior e Correa (2001); Portela et al. (2001); Silva et al. (2001); Teixeira (2001); Beutler et al. (2002); Ottoni Filho (2003); Silva et al. (2003); Fontana et al. (2004); Marques et al. (2004); Oliveira et al. (2004); Klein et al. (2006); Araújo Filho et al. (2007); Correia et al. (2008); Gontijo et al. (2008); Lumbreras (2008); Santos e Araújo Filho (2008); Campos (2009); Marques et al. (2010); Oliveira Junior et al. (2010); Silva et al. (2011b); Costa (2012); Dias (2012); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013a, 2013b); Davalo (2013); Melo (2013); Parahyba (2013); Ramos et al. (2013); Serafim et al. (2013); Andrade (2014); Silva et al. (2014); Pádua Junior (2016); Pequeno (2016); Ferreira et al. (2017); Silva et al. (2017); Torres (2017); Batista et al. (2018); Silva (2018); Lumbreras et al. (2019); Silva et al. (2020).
Luvissolos	Congresso... (1989); Melo e Amaral (2000); Galindo (2007); Oliveira (2007); Fernandes et al. (2010); Silva et al. (2011a); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013b); Reunião... (2013); Silva et al. (2020).
Neossolos Litólicos	Fontes e Oliveira (1982a); Marques (2004); Reunião... (2005); Costa (2012); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013a); Pequeno (2016); Batista et al. (2018).
Neossolos Flúvicos	Fontes e Oliveira (1982a); Congresso... (1989); Corrêa (2000); Melo e Amaral (2000); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013a); Santana (2015); Silva et al. (2018).
Neossolos Regolíticos	Congresso... (1989); Reunião... (2005); Fernandes et al. (2010); Oliveira et al. (2012).
Neossolos Quartzarênicos	Grohmann e Medina (1962); Medina e Grohmann (1966); Fontes e Oliveira (1982a); Reunião... (1983); Andrade et al. (1992); Araújo Filho et al. (2007); Silva et al. (2007); Correia et al. (2008); Silva et al. (2011a); Costa (2012); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013b); Davalo (2013); Parahyba (2013); Castro e Hernani (2015); Torres (2017).

Continua...

Tabela 2. Continuação

Classe de solo	Fonte consultada
Nitossolos	Grohmann e Medina (1962); Oliveira e Queiroz (1975); Fontes e Oliveira (1982a); Reunião... (1983); Palmieri (1986); Rodrigues et al. (1991); Moraes e Libardi (1993); Oliveira Junior et al. (1998b); Ribeiro Filho et al. (2005); Reunião... (2008); Costa (2012); Oliveira et al. (2012); Delarmelinda (2015); Lumbreras et al. (2019); Silva et al. (2020).
Organossolos	Reunião... (1983); Conceição (1989); Souza Júnior (1999); Campos (2009); Campos et al. (2011); Leal (2011); Ferreira (2014).
Planossolos	Winkler e Goedert (1972); Reunião... (1983); Congresso... (1989); Silva (2000); Galindo (2007); Oliveira (2007); Lumbreras (2008); Fernandes et al. (2010); Oliveira et al. (2012); Araújo Filho et al. (2013b); Ferreira (2014); Batista et al. (2018).
Plintossolos	Reunião... (1983); Rego (1986); Amaral e Araújo Neto (1998); Rodrigues et al. (2001); Ribeiro Filho et al. (2005); Reunião... (2013); Batista et al. (2018); Lumbreras et al. (2019); Silva et al. (2020).
Vertissolos	Congresso... (1989); Lyra (1993); Marques (2004); Oliveira et al. (2012); Reunião... (2013); Ferreira (2014); Silva et al. (2020).

3.2. Cálculo e organização dos resultados de água disponível

Na segunda etapa dos trabalhos foram realizados os cálculos da AD por perfil de solo que corresponde à unidade básica para as análises estatísticas e mapeamento da variável. Na sequência, procedeu-se a organização dos resultados em um banco de dados (BD) a fim de viabilizar as análises estatísticas subsequentes.

3.2.1. Cálculo por perfil de solo

O valor da AD representativo de cada perfil de solo foi calculado por meio de duas fases. Na primeira, o cálculo da AD foi realizado para cada horizonte/camada do perfil de solo, considerando a CC na tensão de 10 kPa e o PMP na tensão de 1500 kPa. A fórmula utilizada para o cálculo (Kiehl, 1979; Ometto, 1981) foi a seguinte:

$$ADh = [(CC - PMP) \times Ds] / 10 \quad (1)$$

onde ADh é a água disponível (frações < 2 mm) do horizonte/camada expressa

em mm cm^{-1} ; estando a *CC* e o *PMP* em percentagem (gravimétrica); e a *Ds* em g cm^{-3} .

Nos casos de horizontes/camadas com presença de frações grossas se faz o desconto destas frações multiplicando a *ADh* por um fator $f = [1 - (\% \text{ v/v de frações grossas} / 100)]$ (Kern, 1995) ou, simplesmente, fazendo $f = (\% \text{ frações} < 2 \text{ mm} / 100)$ (Pertersen et al., 1968b; Saxton; Rawls, 2006). Entretanto, o desconto de frações grossas ($> 2 \text{ mm}$) também pode ser realizado, posteriormente, durante o cálculo da *AD* das unidades de mapeamento (UM), conforme o protocolo desenvolvido neste estudo para elaboração de mapas de água disponível (item 4.6).

Na segunda fase, tendo em vista o mapeamento da *AD* com o apoio de mapas pedológicos, foi necessário calcular um valor específico deste parâmetro para cada perfil de solo (vinculado a um grupamento textural adiante especificado). O cálculo foi realizado por meio de uma média ponderada em função das espessuras dos horizontes/camadas, conforme a seguir:

$ADp = (ADh1 \times E1 + ADh2 \times E2 + \dots + ADhn \times En) / (E1 + E2 + \dots + En)$	(2)
---	-----

onde *ADp* (mm cm^{-1}) é a média ponderada representativa da água disponível do perfil de solo; e *E* (cm), é a espessura do horizonte/camada no perfil de solo. Foi considerado que a *ADp* representa adequadamente cada perfil de solo, mesmo nos casos em que o solo possui um gradiente textural acentuado, uma vez que o peso estabelecido no cálculo deste parâmetro é uma função da espessura (*E*) dos horizontes/camadas.

Nos solos muito profundos, com *A+B*, *A+E+B* ou *A+C* $> 200 \text{ cm}$, foi considerando um limite máximo de 200 cm para o cálculo da *ADp*. No caso dos solos pouco profundos ($50 \text{ a } 100 \text{ cm}$) ou rasos ($< 50 \text{ cm}$), o cálculo foi efetuado considerando sua profundidade máxima. No caso específico da ordem dos Planossolos, só foram considerados os horizontes *A* ou *A+E* no cálculo da *ADp*. Tal procedimento foi adotado em função dos impedimentos físicos e/ou químicos do horizonte *B* destes solos para o crescimento de raízes, conforme também consideraram De Jong et al. (1984), De Jong e Shields (1988) e Zhou et al. (2005).

3.2.2. Organização das informações

As informações de ADp desta etapa foram organizadas em um BD em planilhas eletrônicas. A organização foi realizada por classe de solo segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). Entretanto, o foco da organização foi, sobretudo, nos níveis de ordem, subordem, grandes grupos taxonômicos de solos selecionados e nos grupamentos texturais representativos da cobertura pedológica do território nacional.

3.2.3. Alocação de valores em grupamentos texturais

Os valores calculados de ADp foram devidamente alocados no BD, por classe de solo, conforme seus grupamentos texturais. Foram consideradas as seguintes classes de grupamentos: (1) arenosa; (2) arenosa/média; (3) arenosa/média/argilosa; (4) média; (5) média/argilosa; (6) média/(argilosa-muito argilosa); (7) argilosa; (8) argilosa/muito argilosa; (9) siltosa; e (10) média a muito argilosa. Esta última classe foi estabelecida para a alocação de valores de ADp exclusivamente para a ordem dos Organossolos. Tais grupamentos representam variações verticais de textura no perfil de solo, sejam elas pequenas, quando representadas por grupamentos simples, ou mais acentuadas, quando expressas na forma binária ou ternária. Entretanto, quaisquer destas formas, doravante serão referidas, apenas, como grupamentos texturais. A representação na forma binária ou ternária pode indicar, ou não, um gradiente textural elevado (Santos et al., 2018), dependendo da classe de solo. Cabe destacar que o grupamento textural discriminado na classe “**média/(argilosa-muito argilosa)**” se refere aos grupamentos vigentes nos mapas pedológicos na forma ternária (a) “média/argilosa/muito argilosa” ou binária (b) “média/muito argilosa”, os quais se comportam de forma semelhante, em termos de AD, conforme os dados analisados. Por sua vez, o grupamento textural na classe “**argilosa/muito argilosa**” foi concebido para abranger as variações verticais de textura no perfil de solo na faixa de argilosa a muito argilosa ou apenas na faixa muito argilosa, pois o comportamento da AD é semelhante em ambas as situações, conforme os dados analisados.

Para o caso da subordem dos Neossolos Quartzarênicos, visando melhor representar suas diferenças texturais com implicações relevantes na retenção de água no solo, foram utilizados dois subgrupamentos (Santos et al., 2018) que compõem a textura arenosa. Foram os seguintes: (a) textura “mui-

to arenosa” que compreende a classe areia; e (b) textura “arenosa-média” que compreende a classe areia franca (Figura 1). Merece destacar o caso específico da ordem dos Luvisolos cujos dados de AD foram organizados em relação a duas zonas geográficas do País, sem considerar comparações entre suas subordens. O que motivou esta organização foi a natureza peculiar do material de origem dos Luvisolos no estado do Acre. Nesse estado, o material de origem (sedimentos) apresenta alta soma de bases, comumente alto conteúdo de alumínio trocável e, além disto, também apresenta alto percentual de materiais “amorfo” (Gama, 1986; Johas et al., 1997; Reunião..., 2013) o que difere de outras regiões do país. Por isto, o interesse foi comparar Luvisolos Crômicos da região da Amazônia Ocidental em relação aos de outras regiões do território nacional.

3.3. Análises estatísticas

Na terceira etapa, os dados de ADp de 1.520 perfis de solo, doravante referidos como AD e devidamente organizados no BD, foram submetidos às análises estatísticas. As análises foram realizadas com recursos do programa R, versão 4.0.3 (Dalgaard, 2008, R Core Team 2020). Inicialmente foram verificados valores de AD de perfis de solos fora do intervalo de 0,2 mm cm⁻¹ a 4,0 mm cm⁻¹ os quais foram considerados “*outliers*” e, por conseguinte, retirados do BD. Também, foram retirados dados de AD provenientes de classes de solo com menos três perfis de solos. Com esse procedimento o BD foi reduzido para 1.514 perfis de solo.

Na sequência procedeu-se a verificação da variável (AD) quanto à normalidade e homocedasticidade (Field, 2009). No teste de normalidade (Shapiro-Wilk) foram consideradas as hipóteses H_0 : amostra normal ($p > 0,05$); e H_1 : amostra não-normal ($p < 0,05$). No teste de homocedasticidade (Bartlett, 1937; Dalgaard, 2008), as hipóteses foram H_0 : amostra homocedástica ($p > 0,05$); e H_1 : amostra heterocedástica ($p < 0,05$).

Neste estudo, a variável AD foi analisada por métodos não-paramétricos em função da sua distribuição não-normal e heterocedástica (Field, 2009). As comparações entre medianas foram realizadas por meio do teste de Kruskal-Wallis (Dalgaard, 2008). As hipóteses testadas foram H_0 : medianas estatisticamente iguais ($p > 0,05$); H_1 : medianas estatisticamente diferentes (pelo menos, uma difere) ($p < 0,05$). Quando o teste de Kruskal-Wallis indi-

cou diferenças significativas, procedeu-se, na sequência, o teste *post-hoc* de comparação entre pares de medianas (teste de Nemenyi) (Sachs, 1997). Por meio do p-valor, em uma matriz de comparações múltiplas, foi possível verificar os pares de medianas com diferenças estatísticas significativas. As hipóteses testadas foram H_0 : pares de medianas semelhantes estatisticamente ($p > 0,05$); e H_1 : pares de medianas diferentes estatisticamente ($p < 0,05$).

A partir das diversas análises estatísticas dos valores de AD foram organizadas sínteses da estatística descritiva compreendendo valores de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo, mínimo, intervalo interquartilico e o número de observações do parâmetro (perfis de solo). Os resultados também foram disponibilizados na forma de *boxplots* que viabilizam uma visão integrada de medidas de posição, dispersão, assimetria, valores extremos e dados discrepantes (*outliers*).

3.4. Catálogo com valores de água disponível de solos do Brasil

A quarta etapa foi dedicada à organização de um catálogo com as informações de AD das classes de solos representativos brasileiros a partir das sínteses estatísticas referidas no item anterior. No catálogo constam valores de medidas de tendência central (média e mediana), de dispersão dos dados (desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo interquartilico), valores mínimos e máximos, além do número de observações (perfis de solos).

3.4.1. Organização do catálogo

A estrutura do catálogo seguiu a sistemática das classes de solos segundo o SiBCS (Santos et al., 2018), com pequenas adaptações, visando facilitar a busca de informações para o mapeamento da água disponível com o apoio das legendas de solos disponíveis nos mapas pedológicos. As adaptações foram realizadas para reunir informações estatisticamente similares de AD. Na organização foram especificados os grupamentos texturais vinculados às classes de solos, em nível de subordem e, quando pertinente, em relação a algum atributo no nível de grande grupo taxonômico de solos (Santos et al., 2018). Neste nível de detalhe do SiBCS foram considerados aqueles atributos que impactam direta ou indiretamente nos valores da AD como, por

exemplo, o caráter ácrico (Santos et al., 2018). Outros atributos que afetam a AD, como a salinidade, sodicidade, frações grossas (cascalhos, pedregosidade, rochiosidade) foram devidamente considerados no protocolo desenvolvido neste estudo para elaboração de mapas de água disponível (item 4.6).

3.4.2. Informações que não constam no catálogo

Existem grupamentos texturais, sobretudo de solos desenvolvidos a partir de sedimentos, especialmente nos ambientes de várzeas, que fazem parte das legendas de mapas pedológicos, mas que podem não constar no catálogo deste estudo. Tais grupamentos são mais comuns em solos com caráter flúvico (presença de camadas estratificadas) (Santos et al., 2018), sobretudo, pertencentes às classes dos Neossolos Flúvicos e Gleissolos. Isso ocorre devido as diversas possibilidades de combinações de estratos com classes texturais distintas no mesmo perfil de solo. Assim, podem ser constatados perfis de solo compreendendo grupamentos texturais do tipo: argilosa/arenosa/média; muito argilosa/arenosa; arenosa/siltosa; siltosa/muito argilosa etc.

Quando na legenda do mapa pedológico constar um grupamento de textura que não esteja no catálogo deste estudo, então proceder da seguinte forma:

(a) Utilizar valores da mediana de AD de um grupamento textural do catálogo que seja o mais próximo possível do grupamento em questão. Por exemplo: para o grupamento textural da classe “argilosa/média/arenosa” que não consta no catálogo deste estudo, pode-se usar a informação da mediana de AD do grupamento textural na “arenosa/média/argilosa” que difere apenas na sequência dos estratos;

(b) Seguir as recomendações do protocolo referente ao item 4.6, passo 8, que permite estimar os valores de AD para quaisquer combinações de estratos sedimentares em perfis de solos com caráter flúvico ou para qualquer grupamento textural binário ou ternário (Santos et al., 2018).

3.5. Modelagem (PTF) para predição de água disponível

Na quinta etapa foram utilizados modelos de regressão linear simples e múltiplas com uso de variáveis “dummy” para predição de AD de grupamen-

tos texturais, com e sem a adição de informações taxonômicas de solos. O uso de variável “*dummy*” é um procedimento que permite introduzir em uma análise de regressão informações contidas em variáveis que não são convencionalmente medidas em uma escala numérica (Suits, 1957). A variável *dummy* provém de uma variável preditora categórica com mais de dois níveis (classes) (Cohen, 1991; Weisberg, 2014) e nesta condição esse preditor é chamado de fator (Harrell Junior, 2015; Weisberg, 2014). A variável *dummy* ao ser incluída em uma regressão possui característica dicotômica uma vez que reflete a presença ou ausência (1 ou 0) de uma informação específica. Por isto, uma variável categórica com k níveis produz $k-1$ variáveis *dummy* visto que um dos níveis é considerado padrão. Assim, um fator categórico como classes de textura ou grupamentos texturais, tendo k -níveis (k é o número de classes ou de grupamentos texturais), no qual não há uma ordenação definida de categorias, o mesmo pode ser descrito por uma série de $k-1$ variáveis *dummy* (Weisberg, 2014; Harrell Junior, 2015).

A modelagem foi realizada em três etapas. A primeira consistiu no desenvolvimento de uma série de regressões lineares simples. Nessas regressões, as ordens, subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados, bem como grupamentos texturais de solos foram relacionados com a variável-resposta (AD) para verificar o poder preditivo do modelo com um fator. Cada equação gerou um coeficiente de determinação (R^2 ajustado) e um p -valor, viabilizando selecionar a equação significativa ($p < 0,05$) com maior R^2 ajustado (Weisberg, 2014). A segunda etapa foi dedicada ao desenvolvimento de uma série de regressões lineares múltiplas, acrescentando-se ao modelo de um fator mais explicativo, outras variáveis independentes com informações taxonômicas de solo visando melhorar o poder preditivo dos modelos.

Este procedimento (*forward selection*) continuou até encontrar o modelo significativo ($p < 0,05$) com a maior explicação da variável-resposta (AD) que foi verificada por meio do valor mais elevado de R^2 ajustado (Weisberg, 2014) com o menor número de variáveis predictoras (critério da parcimônia). No final desta etapa os pressupostos para o uso da técnica de regressão foram avaliados testando-se a normalidade e a homocedasticidade dos resíduos (Belloto Junior; Sokolowski, 1985). A terceira etapa consistiu na avaliação da acurácia e da confiabilidade do(s) modelo(s) por meio de indicadores estatísticos. Os indicadores utilizados foram o erro médio (ME) e a raiz do erro

quadrático médio (RMSE) (Pachepsky; Rawls, 1999; Wösten et al., 2013). O ME expressa erros sistemáticos em relação aos valores estimados enquanto a RMSE sintetiza o efeito combinado de erros sistemáticos e aleatórios (Wösten et al., 2013). Portanto, fica implícito que quanto menor forem os valores desses indicadores, melhor o desempenho dos modelos preditores da variável resposta. A acurácia foi verificada com as informações da variável resposta no BD que serviu de base para a modelagem. A confiabilidade (validação) foi avaliada utilizando um conjunto de dados de AD compreendendo 33 perfis de solos independentes daqueles utilizados na modelagem (Pachepsky; Rawls, 1999). Os referidos perfis de solos foram obtidos a partir dos estudos de Araújo Filho et al. (2000) e Ramos (2017).

3.6. Elaboração do mapa de água disponível

A sexta e última etapa foi reservada para a elaboração de um mapa de AD. Ela foi realizada em duas fases. A primeira dedicou-se à escolha de um mapa pedológico. Para isso, utilizou-se aqui, como exemplo, o mapa de solos do Brasil disponibilizado pelo IBGE (2020)¹. A segunda fase foi a que permitiu elaborar o mapa da AD. Com esse propósito, foram calculados e espacializados os valores da AD das UMs do mapa de solos do Brasil conforme o protocolo para elaboração de mapas de água disponível desenvolvido neste estudo (item 4.6).

4. Resultados e Discussão

A análise exploratória da variável AD obtida de 1.514 perfis de solos indicou uma distribuição não-normal, com variância heterocedástica entre as classes de solo analisadas e um CV ao redor de 41% (Figura 5). Este valor é praticamente similar ao CV de 43% obtido por Batjes (1996) em uma análise com dados globais. A distribuição de frequência dos valores de AD mostra uma ligeira “cauda” à direita configurando uma assimetria positiva. No entanto, os valores da média e da mediana da variável apresentam-se muito próximos, respectivamente, 1,16 mm cm⁻¹ e 1,14 mm cm⁻¹, o que indica uma baixa assimetria na distribuição dos dados. Considerando que os pressupostos das análises paramétricas não foram plenamente atendidos,

¹Esse mapa consta numa base cartográfica na escala 1:250.000 e está disponível na internet

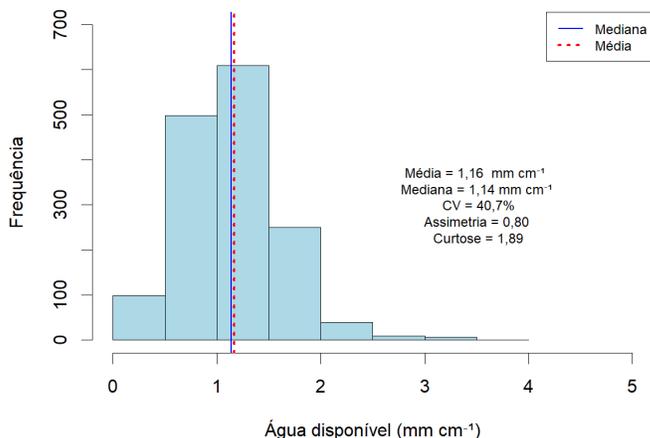


Figura 5. Histograma com os valores da água disponível de 1.514 perfis de solos representativos da cobertura pedológica do Brasil.

seguiram-se as análises comparativas da variável por meio de testes não-paramétricos (Field, 2009).

A seguir são apresentados e discutidos os resultados da mediana de AD: (a) nas ordens do SiBCS; (b) nas subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS; (c) nos grupamentos texturais vinculadas às subordens e aos grandes grupos selecionados no SiBCS constituindo a base principal de informações para organizar o catálogo com valores de AD de solos representativos do território nacional; e (c) em função, apenas, de grupamentos texturais. Por fim, são apresentados e discutidos modelos para predição de AD e um mapa com a distribuição espacial desta variável cobrindo toda cobertura pedológica do Brasil. Os resultados constam nas Figuras de 5 a 10, Tabelas de 3 a 16 e Apêndices de 1 a 4.

4.1. Água disponível nas ordens de solos

Os valores da mediana de AD de solos representativos das ordens no SiBCS, estão sintetizados na Figura 6. Os resultados mostram valores da mediana na faixa de 0,66 mm cm^{-1} a 1,69 mm cm^{-1} e neste intervalo o teste de

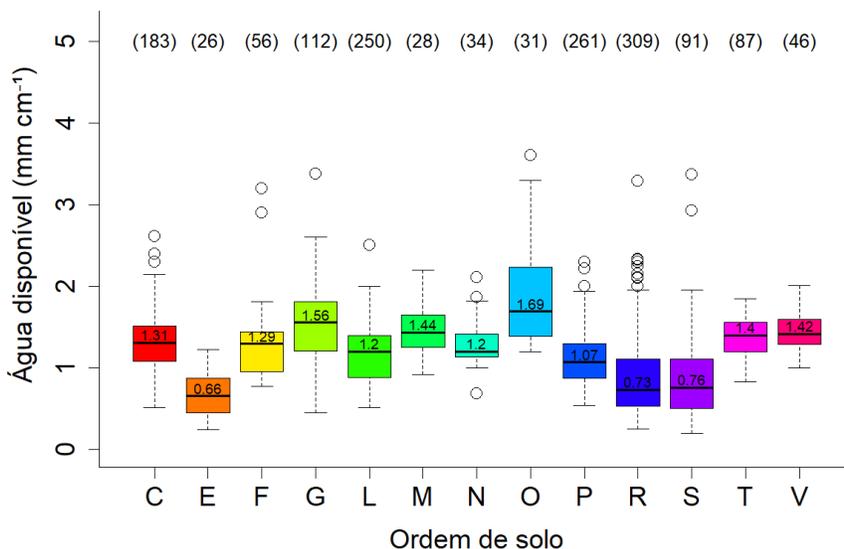


Figura 6. *Boxplot* da água disponível de 1.514 perfis de solos representativos das 13 ordens taxonômicas de solos segundo o SiBCS. C: Cambissolo; E: Espodosolo; F: Plintossolo; G: Gleissolo; L: Latossolo; M: Chernossolo; N: Nitossolo; O: Organossolo; P: Argissolo; R: Neossolo; S: Planossolo; T: Luvisso; V: Vertissolo. O número entre parênteses indica o total de perfis de solos utilizados em cada ordem taxonômica de solo.

Kruskal-Wallis (Dalgaard, 2008) indicou que ocorrem medianas com diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$). Para se saber onde essas diferenças ocorrem, foram feitas comparações de pares de medianas por meio do teste de Nemenyi (Sachs, 1997) que indicou diferenças significativas entre a maior parte das ordens de solos do SiBCS (Tabela 3). Como exemplos, citam-se as diferenças entre: Argissolos (P) e Luvissois (T) ($p < 0,01$); Latossolos (L) e Luvissois (T) ($p < 0,01$); Latossolos (L) e Cambissolos (C) ($p < 0,05$); Argissolos (P) e Gleissolos (G) ($p < 0,01$); Argissolos (P) e Chernossolos (M) ($p < 0,01$).

Já ao se comparar Latossolos (L) e Argissolos (P), bem como Latossolos (L) e Nitossolos (N), verifica-se que as medianas se comportam de forma semelhante ($p > 0,05$), assim como entre Luvissois (T) e Vertissolos (V); Planossolos (S) e Neossolos (R); Nitossolos (N) e Chernossolos (M) (Tabela 3).

Os solos com argila de atividade alta ($T \geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) (Santos et al., 2018), compreendendo Luvissois (T), Chernossolos (M) e Vertissolos

Tabela 3. Matriz com o p-valor comparativo de pares de mediana de água disponível pelo teste post-hoc de Nemenyi (Sachs, 1997) em função das ordens taxonômicas de solos segundo o SiBCS.

Ordem ⁽¹⁾	C	E	F	G	L	M	N	O	P	R	S	T
E	<0,01*											
F	0,99	<0,01*										
G	0,21	<0,01*	0,36									
L	0,02*	<0,01*	0,86	<0,01*								
M	0,78	<0,01*	0,71	1,00	0,01*							
N	1,00	<0,01*	1,00	0,76	0,93	0,88						
O	<0,01*	<0,01*	<0,01*	0,58	<0,01*	0,96	0,04*					
P	<0,01*	<0,01*	0,22	<0,01*	0,92	<0,01*	0,44	<0,01*				
R	<0,01*	0,59	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*			
S	<0,01*	0,81	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	1,00		
T	0,91	<0,01*	0,89	0,99	<0,01*	0,99	0,98	0,24	<0,01*	<0,01*	<0,01*	
V	0,66	<0,01*	0,63	1,00	<0,01*	1,00	0,87	0,81	<0,01*	<0,01*	<0,01*	0,99

*p-valor onde há diferença estatística significativa entre pares de medianas.

⁽¹⁾C: Cambissolo; E: Espodossolo; F: Plintossolo; G: Gleissolo; L: Latossolo; M: Chernossolo; N: Nitossolo; O: Organossolo; P: Argissolo; R: Neossolo; S: Planossolo; T: Luvissolo; V: Vertissolo.

(V), possuem mediana de AD mais elevadas (Figura 6) e significativamente diferentes em relação a dos solos com argila de atividade baixa ($T < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila), como é o caso dos Latossolos (L) e da grande maioria dos Argissolos (P), corroborando estudos de Hong et al. (2013). Isto decorre da presença e influência marcante de argilominerais expansíveis, sobretudo do grupo das esmectitas, na AD dos solos com argila de atividade alta (Thomas; Moody, 1962; Mile; Mitkova, 2012; Hong et al., 2013).

As ordens dos Organossolos (O) e dos Gleissolos(G), mesmo com baixa representatividade no contexto nacional, apresentam os valores mais elevados da mediana de AD, respectivamente, $1,69 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,56 \text{ mm cm}^{-1}$, sendo consideradas semelhantes ($p > 0,05$) em termos estatísticos. Contribuem para estes valores, a presença marcante de matéria orgânica e da fração silte nos Organossolos (O) e, da fração silte com menor influência da matéria orgânica, nos Gleissolos (G). A influência significativa do alto conteúdo da fração silte na AD está demonstrada em vários estudos (Petersen et al., 1968a; Ratliff et al., 1983; Rawls; Pachepsky, 2002; Bruand et al., 2004; Saxton; Rawls, 2006; Teixeira et al., 2021). Na literatura, entretanto, ocorrem controvérsias com relação ao efeito da matéria orgânica na AD (Rawls et

al., 2003; Olness; Archer, 2005), mas existem estudos (Hollis et al., 1977; Hudson, 1994; Dharumarajan et al., 2013) que indicam sua contribuição no incremento deste parâmetro.

A ordem de solos com menor valor da mediana de AD ($0,66 \text{ mm cm}^{-1}$) é a dos Espodosolos (E), consequência direta da dominância de solos arenosos nesta ordem, em conformidade com dados globais calculados por Batjes (1996). Os valores relativamente baixos nos Neossolos (R) ($0,73 \text{ mm cm}^{-1}$) e nos Planossolos (S) ($0,76 \text{ mm cm}^{-1}$) também decorrem da presença marcante de solos arenosos, nos primeiros, e de horizontes superficiais arenosos, nos últimos.

As ordens de solos com valores intermediários da mediana de AD, entre $1,00 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,50 \text{ mm cm}^{-1}$, incluem Cambissolos (C); Plintossolos (F); Latossolos (L); Chernossolos (M); Nitossolos (N); Argissolos (P); Luvissolos; e Vertissolos (V).

As ordens de maior expressão geográfica no Brasil, Latossolos (L) e Argissolos (P), ocupam cerca de 60% do território nacional (IBGE, 2020) e apresentam mediana de AD com valores estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) neste nível de generalização taxonômica, respectivamente, $1,20 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,07 \text{ mm cm}^{-1}$. Porém, noutros estudos (Batjes 1996; Zhou et al., 2005) essas ordens de solos mostram valores distintos. Na China, Zhou et al. (2005) obtiveram valores ao redor de $1,01 \text{ mm cm}^{-1}$ para *Acrisols* (Argissolos) e na faixa de $0,40 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,11 \text{ mm cm}^{-1}$ para *Ferralsols* (Latossolos). Batjes (1996), com base em um inventário global de solos, obteve valores ao redor de $1,20 \text{ mm cm}^{-1}$ para *Acrisols* (Argissolos) e em torno de $0,80 \text{ mm cm}^{-1}$ com relação aos *Ferralsols* (Latossolos). Por outro lado, na Korea do Sul (Hong et al., 2013), os *Ultisols* (Argissolos) mostram valores muito mais altos, ao redor de $2,06 \text{ mm cm}^{-1}$, portanto, muito divergente dos valores obtidos nas condições tropicais do Brasil.

Os solos com argila de atividade alta, isto é, Chernossolos (M), Luvissolos (T) e Vertissolos (V), apresentam valores da medianas de AD estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) entre si, respectivamente, $1,44 \text{ mm cm}^{-1}$, $1,40 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,42 \text{ mm cm}^{-1}$. Tais valores, em geral, são superiores em relação aos da base de dados global de solos de Batjes (1996) com resultados de $1,20 \text{ mm cm}^{-1}$ para Chernossolos; de $0,80 \text{ mm cm}^{-1}$ para Luvissolos; e de $1,30 \text{ mm cm}^{-1}$ para Vertissolos. Os valores mais baixos de Batjes (1996), em relação aos deste estudo, é uma consequência, sobretudo, da faixa de

tensão mais estreita, entre 33 kPa e 1500 kPa, adotada pelo citado autor no cálculo da AD.

Embora no nível mais generalizado de informações taxonômicas do SiBCS, os resultados de AD (Figura 6) mostraram que as ordens de solos embutem atributos que afetam nos valores deste parâmetro, sugerindo que podem contribuir na melhoria de modelos preditivos desta variável.

4.2. Água disponível em subordens e grandes grupos selecionados

Após observar o comportamento da AD nas ordens de solos, seguiu-se a análise da variável com o detalhamento compatível às subordens e em relação a alguns grandes grupos taxonômicos de solos selecionados conforme o SiBCS (Santos et al., 2018). Neste nível de detalhe buscou-se averiguar possíveis influências taxonômicas marcantes na AD assim como apontar lacunas de pesquisas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 7 e na Tabela 4.

É relevante observar o comportamento da AD nas subordens de solos mais expressivas do ponto de vista de extensão geográfica no País. No contexto dos Latossolos, o destaque é para o grande grupo dos Latossolos Vermelhos Ácricos (LVw) (Santos et al., 2018) que representam solos muito intemperizados. Neles, constata-se o valor mais alto da mediana de AD ($1,55 \text{ mm cm}^{-1}$) dentre os Latossolos estudados, cujo valor é estatisticamente semelhante a AD dos Latossolos Vermelhos Perférricos (LVj) ($1,50 \text{ mm cm}^{-1}$). Entretanto, é possível que estes resultados sejam influenciados pela limitada quantidade de dados na classe dos LVj. Cabe destacar que a AD dos LVw é significativamente diferente ($p < 0,01$) da AD das subordens dos Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e Amarelos (LA) (Tabela 4), porém não se pode afirmar o mesmo em relação aos Latossolos Brunos (LB) devido a insuficiência de dados nestes últimos.

Em função dos dados analisados, verifica-se a importância do caráter ácido (Santos et al., 2018) na retenção de água no solo, particularmente em baixas tensões, uma vez que os LVw exibem o desenvolvimento de microagregados (Reunião..., 1988).

Com relação às subordens dos Argissolos, o destaque é para o grande grupo taxonômico de solos com argila de atividade alta ($T \geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) e simultaneamente com a presença do caráter alumínico (teor de Al extraível $\geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo) (Santos et al., 2018) na subordem dos Argissolos Vermelho-Amarelos (PVAva). Tais solos possuem o maior valor da mediana de AD ($1,69 \text{ mm cm}^{-1}$) no contexto dos Argissolos, sendo este valor significativamente diferente ($p < 0,01$) (Tabela 4) tanto em relação às demais subordens dos Argissolos quanto em relação às dos Latossolos. Estudos realizados na Amazônia Ocidental (estado do Acre) e na zona úmida costeira do Nordeste do Brasil, indicam que o mencionado grande grupo de solos apresenta, pelo menos, duas das três características listadas em seguida que contribuem para os altos valores de AD: (a) presença marcante de materiais “amorfos”; (b) elevados teores da fração silte; e (c) presença de argila com atividade alta (Gomes, 1985; Gama, 1986; Johas et al., 1997; Reunião..., 2013).

No concernente às subordens de solos com menor expressão geográfica no território nacional, os resultados obtidos devem ser analisados com parcimônia devido ao limitado número de dados de AD avaliados em tais classes (Figura 7). No entanto, foram constatadas diferenças significativas da mediana de AD ($p < 0,05$) entre a subordem dos Neossolos Flúvicos e as demais subordens dos Neossolos estudados. Isto se deve, principalmente, à grande heterogeneidade de atributos relativos aos grupamentos texturais desta subordem em relação às demais. Por outro lado, não foram constatadas diferenças significativas entre as subordens dos Nitossolos e entre as dos Vertissolos (Tabela 4). Cabe enfatizar o caso do grande grupo dos Plintossolos Argilúvicos Alumínicos (FTa) que apresentam valores relativamente elevados da mediana de AD ($1,50 \text{ mm cm}^{-1}$). Embora com poucos dados, as informações analisadas sugerem que o caráter alumínico, indicativo de conteúdo expressivo de Al⁺³ trocável (extraível com KCl 1N) associado com formas amorfas do elemento, pode estar contribuindo para os altos valores de AD neste grande grupo de solos. Entretanto, pesquisas são necessárias para verificar essa hipótese. Em relação às demais subordens, não é possível afirmar se existem diferenças significativas entre algumas delas, como naquelas vinculadas aos Cambissolos, em função da carência de dados (Figura 7 e Tabela 4).

Cabe destacar que não foram obtidos dados para comparar a AD entre as subordens dos Planossolos, Espodossolos e Luvissolos. No caso dos

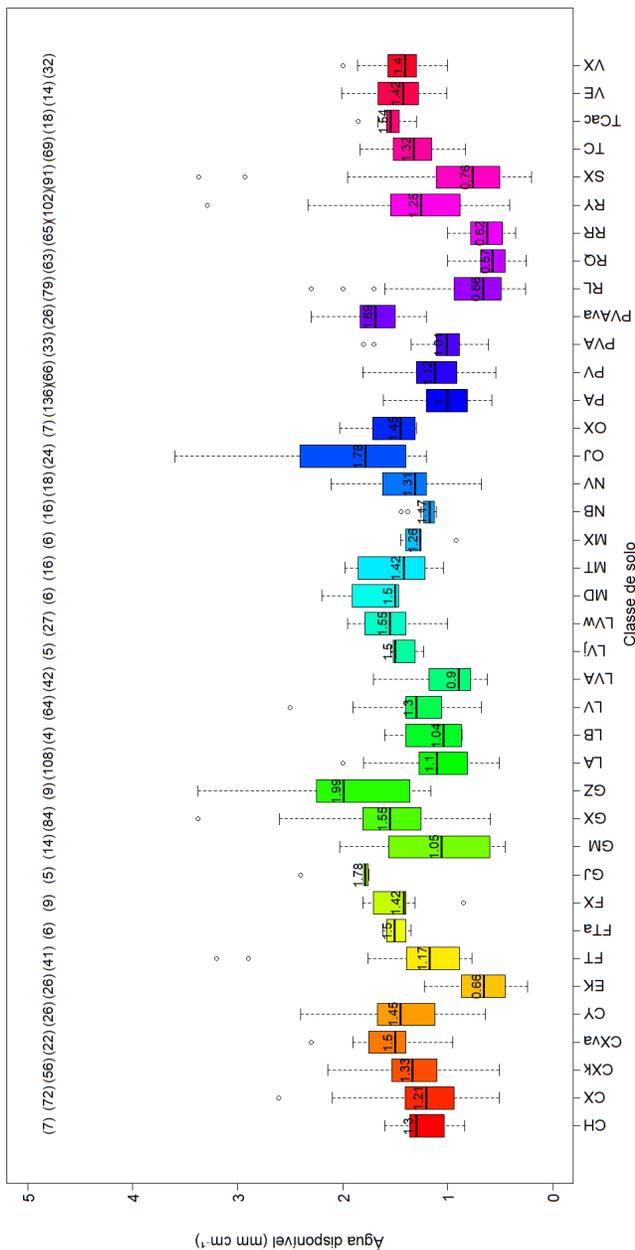


Figura 7. Boxplot da água disponível de 1.514 perfis de solos representativos de subordens e de grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS. CH: Cambissolo Húmido; CX: Cambissolo Háptico; CXK: Cambissolo Háptico Carbonático; CXva: Cambissolo Háptico Ta Aluminico; CY: Cambissolo Flúvico; EK: Espodossolo Humilúvico; FT: Plintossolo Argilúvico; FTa: Plintossolo Argilúvico Aluminico; FX: Plintossolo Háptico; GJ: Gleissolo Tomórfico; GM: Gleissolo Melânico; GX: Gleissolo Háptico; GZ: Gleissolo Sálico; LA: Latossolo Amarelo; LB: Latossolo Bruno; LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LVJ: Latossolo Vermelho Periférico; LVw: Latossolo Vermelho Ácrico; MD: Chernossolo Rêndzico; MT: Chernossolo Argilúvico; MX: Chernossolo Háptico; NB: Nitossolo Bruno; NV: Nitossolo Vermelho; OJ: Organossolo Tomórfico; OX: Organossolo Háptico; PA: Argissolo Amarelo; PV: Argissolo Vermelho; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; PVAva: Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Aluminico; RL: Neossolo Litólico; RQ: Neossolo Quaternário; RR: Neossolo Regilúvico; RV: Neossolo Flúvico; SX: Planossolo Háptico; TC: Luvisso Crômico; TCac: Luvisso Crômico do estado do Acre; VE: Vertissolo Ebânico; VX: Vertissolo Háptico.

Tabela 4. Matriz com o p-valor comparativo de pares de mediana de água disponível do solo pelo teste post-hoc de Nemenyi (Sachs, 1997) em função de classes de solos⁽¹⁾ em nível categórico de subordens e de grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SIBCS.

Table with columns labeled CH, CX, Cx, Cx, Cy, Ek, Ft, Fta, Fx, GJ, GM, GX, GZ, LA, LB, LV, LVA, LVJ, LW, MD, MT, MX, NB, NV, OJ, Ox, PA, PV, PVA, PVAa, RL, RQ, RR, RY, SX, TC, TCa, VE. The table contains a dense matrix of p-values for various soil classes.

(1) A simbologia das subordens e de grandes grupos taxonômicos de solos selecionados e suas respectivas classes de solos constam na Figura 7.

*p-valor onde há diferença estatística significativa entre pares de medianas.

Planossolos, só foram considerados os horizontes superficiais (A ou A+E) nas avaliações da AD, sendo desconsiderado o horizonte Bt (plânico). Este horizonte, em geral, constitui um impedimento ao crescimento de raízes e nele residem as diferenças das subordens no SiBCS (Santos et al., 2018). No Canadá, De Jong et al. (1984) e De Jong e Shields (1988) excluíram os Planossolos nas avaliações de capacidade de água disponível do solo, assim como Zhou et al. (2005) na China. Batjes (1996), porém, manteve estes solos no contexto das suas avaliações preditivas globais.

Em relação aos Espodossolos, as subordens são consideradas muito semelhantes do ponto de vista físico (granulometria) e, por isto, não foram comparadas. Merece realçar o caso específico dos Luvisolos, cujos valores de AD foram comparados na mesma subordem dos Luvisolos Crômicos, mas em relação a duas condições ambientes de formação dos solos no país. Os ambientes comparados foram o da Amazônia Ocidental (estado do Acre) em relação aos demais ambientes do território nacional. Os resultados obtidos foram indicativos que, embora com dados limitados da região da Amazônica Ocidental, não existem diferenças significativas da mediana da AD (Tabela 4) nesta subordem entre as mencionadas zonas geográficas.

Os Gleissolos Sálcos (GZ) e os Organossolos Tiomórficos (OJ), em conformidade com estudos de Batjes (1996) e Zhou et al. (2005), constituem as subordens com os valores mais elevados da mediana de AD, respectivamente, de $1,99 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,78 \text{ mm cm}^{-1}$, mas sendo resultados estatisticamente semelhantes (Tabela 4). Nos estudos de Batjes (1996), os *Solonchaks* (Gleissolos Sálcos) com textura argilosa apresentaram uma média calculada de $1,90 \text{ mm cm}^{-1}$ porém, os *Histosols* (Organossolos) mostraram um valor estimado médio de $4,80 \text{ mm cm}^{-1}$, sendo, portanto, muito superior aos resultados dos Organossolos deste estudo. Por outro lado, os valores mais baixos de AD, isto é, de $0,57 \text{ mm cm}^{-1}$, $0,62 \text{ mm cm}^{-1}$ e $0,66 \text{ mm cm}^{-1}$, ocorrem, respectivamente, nas subordens dos Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Regolíticos e Espodossolos Humilúvicos, o que está em conformidade aos dados globais de Batjes (1996). Tais valores decorrem, principalmente, da natureza arenosa desses solos.

4.3. Água disponível por grupamento textural em subordens e grandes grupos selecionados

Os resultados da mediana de AD em relação aos grupamentos texturais vinculados às subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS constam na Tabela 5. É importante observar que certas classes de solo não possuem valores de AD em todos os grupamentos texturais. Isso ocorre porque existem classes que são tipicamente arenosas (exemplos: Espodosolos e Neossolos Quatzarênicos); outras são tipicamente argilosas (exemplos: Vertissolos e Nitossolos); e outras com presença de horizonte B diagnóstico (Santos et al., 2018) não podem apresentar apenas o grupamento textural na classe arenosa (exemplos: Cambissolos, Argissolos, Latossolos, Plintossolos, Planossolos etc). Há, também, casos em que ainda não se dispõe de dados de AD para certa classe de solo (exemplo: Argissolos Bruno-Acinzentados) ou para determinado grupamento textural, necessitando, portanto, de estudos complementares.

É importante destacar duas peculiaridades consideradas relevantes nos valores de AD. A primeira está no contexto dos grupamentos de textura média, arenosa/média/argilosa, arenosa/média e arenosa (Tabela 5). Nestes grupamentos, a mediana de AD assume valores significativamente diferentes ($p < 0,05$) na mesma classe de solo (Exemplo: na classe PVA). Porém, em geral, comportam-se de forma similar no mesmo grupamento de textura, quando comparada entre diferentes classes de solo (Exemplo: entre as classes CX, LV, PA).

A outra peculiaridade da mediana de AD pode ser observada nos grupamentos texturais que compreendem as texturas argilosa e muito argilosa. Neles ocorrem valores similares de AD ($p > 0,05$), embora relativamente irregulares, em grupamentos texturais distintos, mas na mesma classe de solo (exemplo: na classe LA). Porém, ocorrem valores estatisticamente diferentes no mesmo grupamento de textura, mas em diferentes classes de solo (exemplo: entre as classes FT e PV) (Tabela 5).

Portanto, embora com dados limitados, estas duas peculiaridades constituem achados indicativos que os valores da AD, nos grupamentos texturais que incluem a textura arenosa e média, são mais controlados pela própria textura, com pouca ou insignificante influência da taxonomia de solos. Todavia, nos grupamentos texturais que incluem as texturas argilosa e muito argilosa é onde

se destacam as possíveis influências taxonômicas mais marcantes na AD dos solos. Isto pode ser notado quando se compara, por exemplo: (a) o grande grupo PVAva com as demais subordens dos Argissolos; (b) o grande grupo LVw com a subordem LB; (c) e o grande grupo CXva com as subordens CX e CH (Tabela 5).

No concernente ao grupamento de textura siltosa, os resultados, embora com dados ainda limitados, independentemente das classes taxonômicas de solos, mostram sempre os valores mais elevados da mediana de AD ($> 2 \text{ mm cm}^{-1}$), corroborando informações disponíveis na literatura (Ratliff et al., 1983; Rawls; Pachepsky, 2002; Bruand et al., 2004; Saxton; Rawls, 2006; Costa et al., 2013). Por isto, não foi possível estabelecer qualquer relação, porventura existente, da taxonomia de solos com o mencionado grupamento textural.

Os resultados apresentados sugerem que os modelos preditivos de AD que utilizam apenas dados de textura podem ser mais eficientes em PTFs que incluem as classes de textura arenosa e/ou média. Entretanto, se tais modelos incorporarem informações taxonômicas de solos, infere-se que eles poderão ser eficientes em todas as classes de textura.

4.4. Catálogo de água disponível de solos do Brasil (AD-Brasil)

O catálogo de AD deste estudo compreende três partes. A primeira se refere aos resultados da estatística descritiva com os valores da AD (mm cm^{-1}) relativos aos grupamentos texturais vinculados às subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS e representativos da cobertura pedológica do território nacional. A segunda parte, em complementação à primeira, compreende os resultados de AD em relação aos 10 grupamentos texturais que fazem parte deste estudo independentemente das classes taxonômicas de solos a que pertencem. A terceira, e última parte, compreende dados de AD referentes aos subgrupamentos texturais de solos de textura leve (solos arenosos) devido à sua importância no cenário nacional, constituindo, hoje, parte das áreas de expansão da fronteira agrícola do país com o uso intensivo dos solos (Apêndices 3 e 4). No Apêndice 3, consta o link para acessar o arquivo de impressão do catálogo AD-Brasil, ilustrado com fotos das principais classes de solos do SiBCS.

Tabela 5. Mediana de água disponível (AD em mm cm⁻¹) em função de grupamentos texturais vinculados às subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS.

Classe de solo ⁽²⁾	Grupamentos texturais ⁽¹⁾									
	Aren.	Aren./ méd.	Aren./ méd./ arg.	Média	Méd./ arg.	Méd. a m. arg. ⁽⁴⁾	Méd./ arg.-m. arg. ⁽⁵⁾	Arg.	Arg./ m. arg. ⁽⁶⁾	Siltosa
CH	-	-	-	-	-	-	-	1,30(5)	1,15(2)	-
CX	-	-	-	0,97(36)	1,32(33)	-	-	-	-	2,10(3)
CXk	-	-	-	1,11(30)	1,48(26)	-	-	-	-	-
CXva	-	-	-	1,21(8)	1,60(8)	-	-	-	1,86(6)	-
CY	-	-	-	1,24(16)	1,48(8)	-	-	-	-	2,08(2)
EK	0,45(13)	0,87(13)	-	-	-	-	-	-	-	-
FT	-	0,86(11)	-	1,15(11)	-	-	1,27(14)	-	1,66(2)	2,90(3)
FTa	-	-	-	-	-	-	1,50(6)	-	-	-
FX	-	0,85(1)	-	-	-	-	1,55(5)	-	1,40(3)	-
GJ	--	-	-	-	-	-	-	-	1,77(4)	2,40(1)
GM	-	0,58(6)	-	1,12(4)	-	-	-	-	1,76(4)	-
GX	-	0,89(15)	-	1,31(15)	-	-	1,47(11)	-	1,71(31)	2,30(12)
GZ(3)	-	-	-	-	-	-	1,36(5)	-	-	2,41(4)
LA	-	0,80(33)	-	0,91(21)	1,15(14)	-	-	-	1,34(40)	-
LB	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04(4)	-

Continua...

Tabela 5. Continuação

Classe de solo ⁽²⁾	Grupamentos texturais ⁽¹⁾									
	Aren.	Aren./ méd.	Aren./ méd./ arg.	Média	Méd./ arg.	Méd. a m. arg. ⁽⁴⁾	Méd./ arg.-m. arg. ⁽⁵⁾	Arg.	Arg./ m. arg. ⁽⁶⁾	Siltosa
LV	-	0,80(5)	-	0,91(13)	-	-	-	-	1,36(46)	-
LVA	-	0,73(17)	-	0,92(14)	-	-	-	-	1,35(11)	-
LVj	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50(5)	-
LVw	-	-	-	-	-	-	-	-	1,55(27)	-
MD	-	-	-	-	-	-	1,50(6)	-	-	-
MT	-	-	-	-	-	-	1,38(12)	-	1,70(4)	-
MX	-	-	-	1,26(6)	-	-	-	-	-	-
NB	-	-	-	-	-	-	-	-	1,17(16)	-
NV	-	-	-	-	-	-	-	-	1,31(18)	-
OJ	-	-	-	-	-	1,62(18)	-	-	-	2,54(6)
OX	-	-	-	--	-	1,45(7)	-	-	-	-
PA	-	0,85(39)	1,04(21)	0,86(34)	-	-	1,28(42)	-	-	-
PV	-	0,90(18)	-	1,04(18)	-	-	1,31(26)	-	1,19(4)	-
PVA	-	0,87(10)	-	1,06(15)	-	-	-	-	1,20(8)	-
PVAva	-	-	-	-	-	-	1,62(15)	-	1,80(11)	-
RL	0,40(24)	-	-	0,75(47)	-	-	-	1,55(8)	-	-
RQ	0,57(63)	-	-	-	-	-	-	-	--	-

Continua...

Tabela 5. Continuação

Classe de solo ⁽²⁾	Grupamentos texturais ⁽¹⁾									
	Aren.	Aren./ méd.	Aren./ méd./ arg.	Média	Méd./ arg.	Méd. a m. arg. ⁽⁴⁾	Méd./ arg.-m. arg. ⁽⁵⁾	Arg.	Arg./ m. arg. ⁽⁶⁾	Siltosa
RR	0,52(31)	0,68(32)	-	0,84(2)	-	-	-	-	-	-
RY	-	0,76(22)	-	1,07(45)	1,51(16)	-	-	-	1,63(12)	2,15(7)
SX	0,50(41)	0,71(5)	-	1,07(41)	-	-	-	-	-	2,28(4)
TC	-	-	-	1,18(34)	1,47(35)	-	-	-	-	-
TCac	-	-	-	-	1,54(18)	--	-	-	-	-
VE	-	-	-	-	-	-	-	-	1,42(14)	-
VX	-	-	-	-	-	--	-	-	1,40(32)	-

(1) Aren.: arenosa; méd.: média; arg.: argilosa; m. arg.: muito argilosa; silt.: siltosa. O número entre parênteses se refere a quantidade de perfis utilizados no estudo.

(2) A simbologia das subordens e de grandes grupos taxonômicos selecionados e suas respectivas classes de solos constam na Figura 7.

(3) Não foram feitas correções para o valor da água disponível em relação aos solos afetados por sais.

(4) O grupamento textural na classe "média a muito argilosa" é exclusiva para ordem dos Organossolos.

(5) O grupamento textural na classe "média/(argilosa-muito argilosa)" congrega as texturas: média/argilosa/muito argilosa e a média/muito argilosa.

(6) O grupamento textural argilosa/muito argilosa compreende as texturas argilosa a muito argilosa e a muito argilosa.

4.4.1. Estatística descritiva da água disponível

Para a elaboração do catálogo de AD de solos do Brasil, inicialmente foram organizados os valores de AD (mm cm^{-1}) em conformidade com as classes de solos segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

De acordo com o esquema de organização adotado, uma determinada mediana de AD fica vinculada a um ou mais grupamentos texturais que forem similares do ponto de vista estatístico ($p > 0,05$) dentro da mesma classe taxonômica de solos. Por sua vez, os grupamentos texturais se vinculam a uma ou mais classes de solos que sejam estatisticamente semelhantes ou que possuam comportamento esperado similar, quanto à mediana de AD. Como exemplos citam-se as classes: SN e SX; TC e TX; e NV e NX. Para dar sustentação à organização do presente catálogo (Tabela 6) foram feitas comparações estatísticas da AD em nível hierárquico de ordem, subordem e de grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS (Santos et al., 2018), bem como entre todos os grupamentos texturais de uma mesma classe de solo. É importante lembrar que, nem sempre, uma certa classe de solo possui todos os grupamentos texturais que fazem parte do catálogo, conforme relatado anteriormente.

No concernente aos grupamentos texturais vinculados às subordens e grandes grupos de solos selecionados, o número de perfis (n) de solos utilizados no cálculo de AD em cada grupamento textural é muito variado. Como pode ser notado (Tabela 6), alguns grupamentos texturais possuem baixos valores de “ n ”, isto é, menos de cinco perfis de solos para representar a AD de um determinado grupamento textural. Os grupamentos vigentes nas subordens CH, CX, CY, GJ, LB, MT, FT e FX são exemplos desta situação (Tabela 6). De maneira análoga, no catálogo global da CAD organizado por Batjes (1996) também constam lacunas ou limitações de dados em certas classes de solos e em suas respectivas classes de textura.

É importante observar que ao se comparar o valor calculado de AD de um certo grupamento textural, em diferentes subordens da mesma ordem de solos, ocorrem valores de AD estatisticamente similares ($p > 0,05$). Por meio do teste estatístico de Kruskal-Wallis (Dalgaard, 2008) complementado com o de Nemenyi (Sachs, 1997), foram verificadas semelhanças comparando-se os mesmos grupamentos texturais nas subordens dos Gleissolos (GJ, GM, GX); dos Chernossolos (MD e MT); dos Argissolos

(PA, PV e PVA); dos Latossolos (LV e LVA); dos Nitossolos (NV e NB); dos Vertissolos (VE e VX); e dos Organossolos (OJ e OX). Como exemplo, citam-se os valores de AD, no grupamento textural arenosa/média, nas subordens PA, PV e PVA, respectivamente de 0,85 mm cm⁻¹, 0,90 mm cm⁻¹ e 0,87 mm cm⁻¹. Por isto, infere-se que dentro de uma mesma ordem de solos os valores de AD de um determinado grupamento textural, de certa subordem, podem suprir deficiências de dados nas demais subordens em relação ao mesmo grupamento textural.

Além do que já foi discutido, outras particularidades inerentes ao catálogo deste estudo merecem ser destacadas. Estas incluem: (a) comparação do catálogo do presente estudo com um outro catálogo organizado por Batjes (1996) contendo dados globais da CAD; (b) discussão de questões relacionadas com lacunas de dados de AD em certas classes de solos; (c) avaliação dos valores de AD nos diferentes grupamentos texturais estudados, independentemente da classe de solos a que pertencem; (d) avaliação dos dados obtidos de AD em subgrupamentos texturais para solos leves (solos arenosos); e (e) recomendações gerais sobre o uso do catálogo deste estudo.

4.4.2. Comparação entre catálogos

As comparações, aqui tratadas, foram realizadas entre os resultados da CAD vigentes em um catálogo com informações globais (Batjes, 1996) e os resultados de AD do presente estudo. O catálogo organizado por Batjes (1996) dispõe de resultados da CAD calculados entre as tensões de 33 kPa e 1500 kPa, enquanto, no presente estudo, a AD foi calculada entre as tensões de 10 kPa e 1500 kPa. O catálogo de Batjes (1996) é derivado de informações provenientes de 4.353 perfis de solos (incluindo 599 da América do Sul e Caribe) e compreende duas partes. Uma contém valores calculados (a partir de 2.919 perfis de solos) para um nível taxonômico mais generalizado (grupos de solos de referência) e a outra dispõe de valores estimados da CAD conforme classes de solos em dois níveis taxonômicos discriminados na legenda do mapa de solos da FAO (1974). Entretanto, ambas as partes consideram apenas três grupamentos de classes de textura de solos (arenosa, média e argilosa) e três níveis de carbono orgânico (baixo, médio e alto). Somente na parte calculada foram adicionadas informações da CAD exclusivas para os grupamentos texturais, independentes de

Tabela 6. Estatística descritiva da AD (mm cm⁻¹) realizada com 1.514 perfis de solos representativos da cobertura pedológica do Brasil em função de agrupamentos texturais relacionados às subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). Valores da mediana de AD estão apresentados em negrito.

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁵⁾	Min. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
	ARGISSOLOS - P								
	Arenosa/média	39	0,85	0,19	22	0,85	0,30	0,58	1,50
	Arenosa/média/argilosa	21	1,03	0,14	13	1,04	0,10	0,70	1,40
PBAC*	Média, arenosa/argilosa	34	0,90	0,19	21	0,86	0,19	0,60	1,42
PAC*	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	42	1,26	0,21	17	1,28	0,28	0,70	1,61
	Arenosa/média	18	0,86	0,20	23	0,90	0,33	0,54	1,13
	Média, arenosa/argilosa	18	0,98	0,16	16	1,04	0,26	0,68	1,18
PV	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	26	1,39	0,21	15	1,31	0,24	1,10	1,81
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,17	0,13	11	1,19	0,15	1,00	1,30
	Arenosa/média	10	0,84	0,15	18	0,87	0,26	0,61	1,01
PVA	Média, arenosa/argilosa	15	1,04	0,18	17	1,06	0,15	0,68	1,35
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	8	1,28	0,32	25	1,20	0,31	0,89	1,80

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupoamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁵⁾	Mín. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
PVva* PVAva	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	15	1,59	0,28	18	1,62	0,36	1,20	2,22
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	11	1,82	0,21	12	1,80	0,20	1,50	2,30
CAMBISSOLOS - C									
Cl*	Argilosa	5	1,24	0,28	23	1,30	0,16	0,84	1,60
CH	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	2	1,15	0,35	30	1,15	0,25	0,90	1,40
	Média	16	1,25	0,41	33	1,24	0,69	0,64	1,82
CY	Média/argilosa, argilosa	8	1,49	0,11	7	1,48	0,14	1,31	1,67
	Siltosa	2	2,08	0,44	21	2,08	0,31	1,77	2,40
	Média	36	1,01	0,25	25	0,97	0,30	0,51	1,69
CX	Média/argilosa, argilosa	33	1,34	0,23	17	1,32	0,28	0,60	1,83
	Siltosa	3	2,15	0,44	20	2,10	0,43	1,74	2,61
	Média	30	1,14	0,31	27	1,11	0,37	0,51	1,90
CXk	Média/argilosa, argilosa	26	1,58	0,28	18	1,48	0,46	1,21	2,14
	Média	8	1,22	0,22	18	1,21	0,38	0,95	1,48
CXva	Média/argilosa, argilosa	8	1,62	0,17	10	1,60	0,23	1,40	1,87
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	6	1,87	0,24	13	1,86	0,17	1,60	2,30

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupoamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Inteq. ⁽⁶⁾	Mín. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
CHERNOSSOLOS - M									
ME* MD	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	6	1,68	0,31	18	1,50	0,33	1,47	2,20
MT	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	12	1,45	0,30	21	1,38	0,35	1,04	1,98
MX	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,65	0,36	22	1,70	0,49	1,21	1,98
	Média	6	1,26	0,18	14	1,26	0,11	0,92	1,45
ESPODOSSOLOS - E									
EK	Arenosa	13	0,44	0,11	25	0,45	0,06	0,24	0,61
ES* ESK*	Arenosa/média	13	0,87	0,14	16	0,87	0,15	0,70	1,22
GLEISSOLOS - G									
GJ	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,77	0,02	1	1,77	0,03	1,75	1,80
	Siltosa	1	2,40	-	-	2,40	-	2,40	2,40

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁵⁾	Mín. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
GZ	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa,	5	1,49	0,32	21	1,36	0,26	1,16	1,99
	média/argilosa/muito argilosa								
	Siltosa	4	2,56	0,59	23	2,41	0,56	2,05	3,38
GM	Arenosa/média	6	0,69	0,27	39	0,58	0,23	0,45	1,19
	Média, arenosa/argilosa	4	1,14	0,27	24	1,12	0,43	0,90	1,44
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,78	0,19	11	1,76	0,13	1,56	2,03
GX	Arenosa/média	15	0,88	0,20	23	0,89	0,23	0,59	1,25
	Média, arenosa/argilosa	15	1,27	0,27	21	1,31	0,33	0,70	1,63
	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa,	11	1,47	0,22	15	1,47	0,26	1,02	1,78
média/argilosa/muito argilosa									
LB	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	31	1,73	0,29	17	1,71	0,26	1,30	2,57
	Siltosa	12	2,40	0,33	14	2,30	0,18	2,15	3,38
	LATOSSOLOS - L								
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,14	0,35	31	1,04	0,42	0,86	1,60

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁵⁾	Min. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
LA	Arenosa/média	33	0,83	0,21	25	0,80	0,33	0,51	1,23
	Média	21	0,91	0,17	19	0,91	0,28	0,60	1,13
	Média/argilosa, argilosa	14	1,10	0,22	20	1,15	0,21	0,60	1,36
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	40	1,36	0,22	16	1,34	0,30	0,92	2,00
LV	Arenosa/média	5	0,79	0,05	6	0,80	0,06	0,72	0,85
	Média	13	0,96	0,18	19	0,91	0,14	0,68	1,30
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	46	1,40	0,26	18	1,36	0,29	1,00	2,50
LVA	Arenosa/média	17	0,75	0,08	11	0,73	0,12	0,62	0,92
	Média	14	0,98	0,19	19	0,92	0,16	0,79	1,54
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	11	1,34	0,23	17	1,35	0,25	0,92	1,71
LVj	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	5	1,42	0,14	10	1,50	0,21	1,23	1,54
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	27	1,55	0,26	17	1,55	0,39	1,00	1,95
LUVISSOLOS - T									
TC TX*	Média, arenosa/argilosa	34	1,19	0,20	17	1,18	0,28	0,83	1,62
	Média/argilosa, média/(argilosa-muito argilosa)	35	1,47	0,19	13	1,47	0,29	1,11	1,83
TCac	Média/argilosa média/(argilosa-muito argilosa)	18	1,52	0,13	8	1,54	0,11	1,30	1,85

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁵⁾	Min. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
NEOSSOLOS - R									
RL	Arenosa	24	0,46	0,14	30	0,40	0,19	0,26	0,80
	Média	47	0,80	0,31	39	0,75	0,40	0,41	1,60
	Argilosa	8	1,65	0,34	21	1,55	0,39	1,30	2,30
RY	Arenosa/média	22	0,84	0,30	36	0,76	0,49	0,41	1,39
	Média, arenosa/argilosa	45	1,12	0,31	28	1,07	0,50	0,43	1,74
	Média/argilosa	16	1,51	0,22	15	1,51	0,26	1,11	1,95
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	12	1,66	0,32	19	1,63	0,47	1,19	2,33
	Siltosa	7	2,34	0,43	18	2,15	0,15	2,10	3,29
RR	Arenosa	31	0,56	0,17	30	0,52	0,23	0,35	0,97
	Arenosa/média	32	0,70	0,14	20	0,68	0,20	0,44	1,00
	Média	2	0,84	0,11	13	0,84	0,08	0,76	0,92
RQ	Arenosa	63	0,57	0,17	30	0,57	0,23	0,25	1,00
NITOSSOLOS - N									
NB	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	16	1,20	0,09	8	1,17	0,08	1,11	1,44
NV NX*	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	18	1,37	0,34	25	1,31	0,38	0,68	2,11
ORGANOSSOLOS - O									
OJ	Média a muito argilosa	18	1,81	0,67	37	1,62	0,54	1,20	3,60
	Siltosa	6	2,56	0,42	16	2,54	0,29	2,05	3,30
OO* OX	Média a muito argilosa	7	1,55	0,28	18	1,45	0,40	1,30	2,03

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter-Interq ⁽⁵⁾	Mín. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
PLANOSSOLOS - S									
SN** SX**	Arenosa	41	0,53	0,21	40	0,50	0,22	0,20	1,20
	Arenosa/média	5	0,68	0,12	18	0,71	0,16	0,51	0,81
	Média	41	1,07	0,28	26	1,07	0,29	0,41	1,95
	Siltosa	4	2,36	0,93	39	2,28	1,44	1,52	3,37
PLINTOSSOLOS - F									
FF* FT	Arenosa/média	11	0,91	0,11	12	0,86	0,13	0,77	1,14
	Média	11	1,14	0,20	18	1,15	0,25	0,80	1,41
	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	14	1,23	0,21	17	1,27	0,22	0,82	1,53
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	2	1,66	0,14	8	1,66	0,10	1,56	1,76
	Siltosa	3	2,62	0,76	29	2,90	0,72	1,76	3,20
	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, Média/argilosa/muito argilosa	6	1,49	0,11	7	1,50	0,16	1,35	1,62

Continua...

Tabela 6. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Grupamento textural	n ⁽²⁾	Média	DP ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁵⁾	Mín. ⁽⁶⁾	Máx. ⁽⁷⁾
	Arenosa/média	1	0,85	-	-	0,85	-	0,85	0,85
FX	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	5	1,58	0,18	11	1,55	0,29	1,40	1,81
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	3	1,47	0,21	14	1,40	0,20	1,31	1,71
VERTISSOLOS - V									
VE	Argilosa, argilosa/muito argilosa, muito argilosa	14	1,48	0,34	23	1,42	0,37	1,01	2,01
VG* VX	Argilosa, argilosa/muito argilosa, muito argilosa	32	1,43	0,23	16	1,40	0,26	1,00	2,00

⁽¹⁾PABC: Argissolo Bruno-Acinzentado; PAC: Argissolo Acinzentado; PA: Argissolo Amarelo; PV: Argissolo Vermelho; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; PVAa: Argissolo Amarelo-Ta Aluminico; PVVa: Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Aluminico; Cl: Cambissolo Hístico; CH: Cambissolo Húmido; CY: Cambissolo Flúvico; CX: Cambissolo Hápico; CXa: Cambissolo Hápico Carbonático; CXva: Cambissolo Hápico Ta Aluminico; MD: Chernossolo Rênzico; ME: Chernossolo Ebânico; MT: Chernossolo Argilúvico; MX: Chernossolo Hápico; EK: Espodossolo Humilúvico; ES: Espodossolo Ferrilúvico; ESK: Espodossolo Ferri-Humilúvico; GJ: Gleissolo Tiomórfico; GZ: Gleissolo Sálco; GM: Gleissolo Melânico; GX: Gleissolo Hápico; LB: Latossolo Bruno; LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho; LVj: Latossolo Vermelho Periférico; LVw: Latossolo Vermelho Acríco; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; TC: Luvisso Crômico; TX: Luvisso Hápico; TCac: Luvisso Crômico do estado do Acre; RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico; RR: Neossolo Regolítico; RQ: Neossolo Quartzarênico; NB: Nitossolo Bruno; NV: Nitossolo Vermelho; NX: Nitossolo Hápico; OJ: Organossolo Tiomórfico; OO: Organossolo Fólico; OX: Organossolo Hápico; SN: Planossolo Nátrico; SX: Planossolo Hápico; FF: Plintossolo Pétrico; FT: Plintossolo Argilúvico; Fta: Plintossolo Argilúvico Aluminico; FX: Plintossolo Hápico; VG: Vertissolo Hidromórfico; VE: Vertissolo Ebânico; VX: Vertissolo Hápico.

⁽²⁾Número de perfis; ⁽³⁾DP: desvio padrão; ⁽⁴⁾CV: coeficiente de variação; ⁽⁵⁾Inter. Interq.: intervalo interquartil; ⁽⁶⁾Mín.: mínimo; ⁽⁷⁾Max.: máximo.

*Classes de solos nas quais não foram calculados valores de AD por falta de dados; **valores de AD calculados apenas nos horizontes superficiais (A ou A + E).

classes taxonômicas. Cabe destacar que o grupamento de textura arenosa (FAO, 1974) utilizado no catálogo de Batjes (1996) compreende as classes areia, areia franca e parte da francoarenosa ($< 180 \text{ g kg}^{-1}$ de argila), o que difere da textura arenosa do SiBCS (Santos et al., 2018) que considera apenas as classes areia e areia franca. Na parte calculada (Batjes, 1996), as informações da CAD se referem aos primeiros 30 cm da superfície do solo (FAO, 1974). Portanto, são informações muito generalizadas voltadas para conhecimentos de natureza global. Na parte estimada, por outro lado, as informações se referem a 100 cm de profundidade, exceto para solos rasos ($< 50 \text{ cm}$). Isto, possivelmente, incorpora distorções aos valores estimados da CAD, pois os solos com gradiente textural, em geral, possuem mais de uma classe de textura dentro desta profundidade.

O catálogo do presente estudo (Tabela 6) foi embasado em informações de 1.514 perfis de solos exclusivamente do território nacional. Foram feitas estimativas, apenas de poucos valores faltantes da densidade do solo em horizontes/camadas específicos, bem como de poucos valores de AD em perfis de solos dispersos entre outros perfis com valores de AD calculados na região da Amazônia Ocidental. O catálogo contém informações organizadas de AD vinculadas a 10 grupamentos texturais no contexto de ordens, subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). Entretanto, destaca-se que ocorrem desbalanceamentos quantitativos de dados de perfis de solos utilizados no cálculo da AD (Tabelas 5 e 6) tanto entre grupamentos texturais quanto entre classes de solos, em função da disponibilidade de dados existentes no País.

Com relação à estatística descritiva da AD, constam informações que incluem: número de perfis utilizados (n), média, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), mediana, intervalo interquartil, valores mínimos e máximos (Tabela 6). Por sua vez, no catálogo de Batjes (1996) estão disponíveis, apenas, informações sobre a média, CV e “ n ”. Cabe chamar atenção também para o fato de que os dados do presente estudo possuem uma dispersão global em torno da média (CV de 41%) relativamente semelhante à dos resultados de Batjes (1996) (CV ao redor de 43 %).

4.4.3. Classes de solo sem informação de água disponível

Em nível taxonômico de ordem, segundo o SiBCS, todas as 13 classes de solo foram devidamente contempladas com informações calculadas de AD. Porém, em nível de subordem, das 44 reconhecidas no SiBCS, não foram encontrados dados que viabilizassem análises estatísticas de AD para 12 delas (PBAC; PAC; CI; ME; ES; ESK; TX; NX; OO; SN; FF; e VG). No entanto, tais classes se assemelham a outras, do ponto de vista físico-hídrico, no contexto da mesma ordem de solos. Com base nesta premissa, infere-se que seus valores de AD podem ser considerados semelhantes aos das classes com as quais guardam similaridades estatísticas no mesmo grupamento textural (Tabela 6). No catálogo de Batjes (1996), entre as 26 classes de solos listadas no nível categórico mais geral, quatro delas (Lithosols, Greyzems, Histosols, Rankers) ficaram sem valores calculados da CAD. Portanto, ambos os catálogos possuem limitações de dados para determinadas classes de solos.

4.4.4. Água disponível relacionada aos grupamentos texturais

O relacionamento da AD com os grupamentos texturais de solos, independentemente de classes taxonômicas, está apresentado na Figura 8 e no Apêndice 4. Como pode ser notado, a mediana de AD aumenta de forma significativa do grupamento de textura arenosa ($AD = 0,51 \text{ mm cm}^{-1}$) até atingir o grupamento com a textura média/argilosa ($AD = 1,46 \text{ mm cm}^{-1}$). Este aumento significativo pode ser verificado quando se comparam os pares de medianas nos referidos grupamentos (Tabela 7). No entanto, as diferenças observadas na mediana de AD nos grupamentos que incluem as texturas argilosa e muito argilosa e excluem a textura arenosa nos grupamentos binários ou ternários, não foram significativas. Isto é indicativo que a textura, isoladamente, possui o maior potencial de explicar as variações da AD nos solos mais arenosos e, gradativamente, perde importância à medida que aumenta o conteúdo de argila. Já no grupamento textural que discrimina a classe siltosa é onde se destaca o maior valor da mediana de AD ($2,30 \text{ mm cm}^{-1}$). Este resultado corrobora diversos estudos disponíveis na literatura (Salter; Williams, 1965, 1969; Costa et al., 2013; Teixeira et al., 2021) independentemente da classe taxonômica de solo a que pertence. No entanto, em estudos realizados em territórios chinês e canadense, os valores mais elevados da AD foram verificados tanto em solos de textura siltosa como naqueles de textura argilosa (De Jong et al., 1984; Zhou et al., 2005).

Tabela 7. Matriz com o p-valor comparativo de pares de mediana de água disponível pelo teste *post-hoc* de Nemenyi (Sachs, 1997) em função do grupamento textural de perfis de solos⁽¹⁾ da cobertura pedológica do Brasil.

Textura ⁽²⁾	Aren.	Aren./ méd.	Aren./ méd./ arg.	Méd.	Méd./ arg.	Méd./ arg.-m. arg.	Méd. a m. arg.	Arg.	Arg./ m. arg.
Aren./ méd.	<0,01*								
Aren./ méd./arg.	<0,01*	0,39							
Méd.	<0,01*	<0,01*	1,00						
Méd./arg.	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*					
Méd./ arg.-m. arg.	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	0,97				
Méd. a m. arg.	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	0,86	0,43			
Arg.	<0,01*	<0,01*	0,07	<0,01*	1,00	1,00	0,99		
Arg./m. arg.	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	1,00	0,95	0,81	1,00	
Siltosa	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	<0,01*	0,47	0,16	<0,01*

*p-valor onde há diferença estatística significativa entre pares de medianas.

⁽¹⁾Cambissolo; Chernossolo; Espodossolo; Plintossolo; Gleissolo; Latossolo; Luvisolo; Neossolo; Nitossolo; Organossolo; Argissolo; Planossolo; Vertissolo.

⁽²⁾Aren: arenosa; méd.: média; arg.: argilosa; m. arg.: muito argilosa.

Apesar da vantagem em atermos de simplicidade para estimativas de AD com base apenas na textura do solo (Figura 8), algumas limitações merecem ser apontadas. As mais importantes se referem às perdas de informações que impactam na retenção de água, a seguir relacionadas: (i) influência da mineralogia da fração argila dos solos; (ii) influência de materiais “amorfos”; (iii) efeito da atividade da fração argila; (iv) importância do conteúdo de matéria orgânica; e (v) presença de sais solúveis e de sódio trocável, entre outras.

Cabe destacar ainda que os valores e as tendências de variação da mediana de AD em função, apenas, da textura dos solos observados neste estudo estão em conformidade com diversos trabalhos disponíveis na

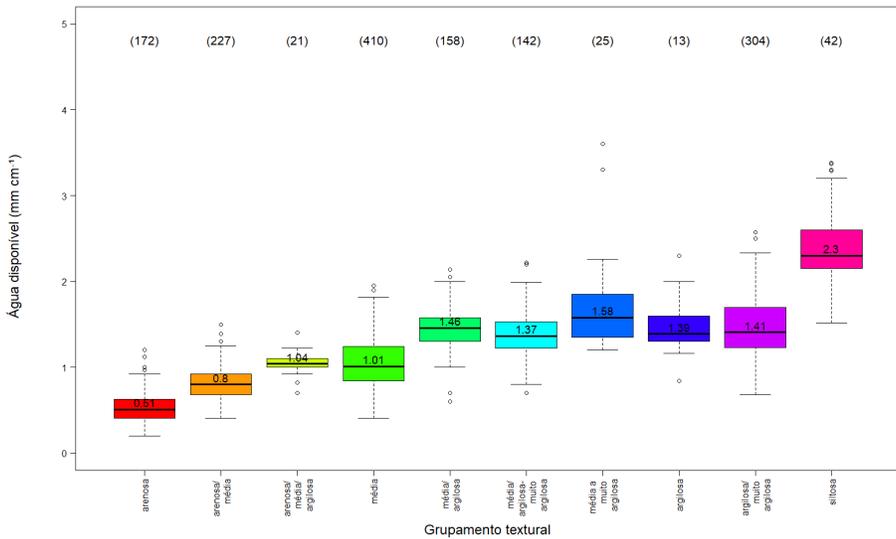


Figura 8. Relações entre a água disponível e os grupamentos texturais de 1.514 perfis de solos representativos da cobertura pedológica do Brasil. Obs.: (1) o grupamento textural na classe “**média/(argilosa-muito argilosa)**” inclui as texturas: média/argilosa/muito argilosa e média/muito argilosa; (2) o grupamento textural na classe **argilosa/muito argilosa** compreende as texturas: argilosa a muito argilosa e muito argilosa; e (3) o grupamento textural na classe “**média a muito argilosa**” é exclusivo para a ordem dos Organossolos.

literatura (Petersen et al., 1968a; Ratliff et al., 1983; Batjes, 1996; Rawls; Pachepsky, 2002; Bruand et al., 2004; Saxton; Rawls, 2006; Teixeira et al., 2021). Entretanto, nos estudos de Batjes (1996), com informações globais, os valores médios calculados da AD foram de $0,8 \text{ mm cm}^{-1}$ para a textura arenosa, $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$ para a textura média e $1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ para a textura argilosa. Estes valores, por conseguinte, são relativamente mais elevados na faixa arenosa e inferiores na textura argilosa, em relação aos do presente estudo. Isto acontece porque, na faixa arenosa, a textura adotada por Batjes (1996) engloba uma pequena parte da textura média do presente estudo. Já os valores mais baixos de Batjes (1996) na textura argilosa podem resultar, entre outros fatores, do cálculo da AD entre as tensões de 33 kPa e 1500 kPa.

É oportuno mencionar que em trabalhos desenvolvidos na província de Saskatchewan, no Canadá, os valores mais elevados de AD foram encontrados em solos muito argilosos (De Jong et al., 1984; De Jong; Shields, 1988).

Isto diverge do presente estudo e de diversos outros disponíveis na literatura (Salter; Williams, 1965, 1969; Costa et al., 2013) em que os valores mais elevados de AD se relacionam com a textura siltosa.

4.4.5. Água disponível em solos arenosos

Visando detalhar informações sobre o comportamento físico-hídrico de solos arenosos, procedeu-se um desmembramento do grupamento de textura arenosa em dois subgrupamentos texturais, tal como consta no SiBCS (Santos et al., 2018). São eles: textura muito arenosa (na classe textural areia) e textura arenosa-média (na classe textural areia franca). Para este detalhamento foram utilizados dados, apenas, da subordem dos Neossolos Quartzarênicos (Tabela 8).

Tabela 8. Estatística descritiva da AD (mm cm^{-1}) na subordem dos Neossolos Quartzarênicos conforme subgrupamentos texturais adotados no SiBCS (Santos et al., 2018). Valores da mediana de AD estão apresentados em negrito.

Classe de solo ⁽¹⁾	Subgrupamento de textura ⁽²⁾	n	Média	DP	CV	Mediana	Intervalo Inter-quartilico	Mín.	Máx.
RQ1	Muito arenosa	30	0,45	0,12	27	0,45	0,17	0,25	0,70
RQ2	Arenosa-média	33	0,67	0,12	18	0,67	0,14	0,50	1,00

⁽¹⁾A simbologia das subordens e suas respectivas classes de solos constam na Tabela 6.

⁽²⁾Os subgrupamentos texturais nas classes muito arenosa e arenosa-média compõem o grupamento de textura arenosa.

Ressalta-se que os solos de textura leve representam cerca de 8% do território nacional e ao redor de 20% na região do Matopiba, importante fronteira agrícola do País, que abrange parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Donagemma et al., 2016). Incluem os Neossolos Quartzarênicos, parte dos Argissolos e dos Latossolos, sobretudo aqueles com o grupamento textural na classe arenosa/média. Para os Argissolos e Latossolos com este grupamento, constam informações de AD nas Tabelas 5 e 6.

Em relação aos Neossolos Quartzarênicos, os subgrupamentos nas classes muito arenosa e arenosa-média apresentam mediana de AD, respectivamente, com valores de $0,45 \text{ mm cm}^{-1}$ e $0,67 \text{ mm cm}^{-1}$ (Tabela 8). São valores estatisticamente diferentes pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) (Dalgaard, 2008) e foram ligeiramente mais elevadas em relação aos obtidos por Teixeira et al. (2021) por meio de PTF. Embora a diferença entre as medianas da AD dos citados subgrupamentos pareça ser relativamente pequena, foi considerada de alta relevância por Araújo Filho et al. (2013a) na avaliação do potencial de terras para irrigação de solos arenosos na região do vale do São Francisco, municípios de Petrolândia (PE) e Glória (BA). Estes autores verificaram que tais valores de AD servem de base tanto para distinção entre classes taxonômicas como para diferenciar unidades de mapeamentos de solos visando o seu uso com agricultura irrigada. Neste sentido, o presente catálogo traz informações relevantes acerca da AD de solos arenosos, contribuindo, assim, com critérios físico-hídricos para o entendimento do seu funcionamento.

4.4.6. Recomendações gerais para o uso do catálogo

As informações que constam no catálogo deste estudo não consideram quaisquer descontos nos valores de AD relacionados à influência de alguns atributos que restringem este parâmetro. Por conseguinte, quando houver frações grossas (cascalhos, pedregosidade, rochosidade), sais solúveis e sódio trocável na classe de solo em análise, conforme o contexto das legendas dos mapas pedológicos, os valores de AD deste catálogo devem ser corrigidos de acordo com os tipos de restrições e seus níveis. Para fazer as correções de forma adequada, devem ser consideradas as orientações vigentes no protocolo para elaboração de mapas de AD, descritas no item 4.6 desta publicação.

4.5. Modelos de PTF desenvolvidos para predição de água disponível

Na modelagem optou-se pelo uso de variáveis preditoras de fácil acesso normalmente disponíveis na legenda dos mapas pedológicos. Foram utilizados 10 grupamentos texturais e classes de solo em nível hierárquico de ordem, subordem e grandes grupos taxonômicos de solos selecionado segundo o SiBCS (Santos et al., 2018). Esta escolha deveu-se à praticidade dos modelos, pois neste caso o usuário só precisa identificar a classe de solo e/ou o grupamento textural. Com isto se consegue realizar previsões da variável resposta (AD) sem a necessidade de reunir dados analíticos físicos e/ou químicos.

A seguir são apresentados e discutidos modelos preditivos de AD por meio de regressões lineares simples (RLS) e múltiplas (RLM), assim como a acurácia e a confiabilidade (validação) do melhor modelo. A análise gráfica de resíduos destes modelos consta no Apêndice 1.

4.5.1. Predições de AD por meio de regressão linear simples

Foram gerados três modelos preditivos de AD no solo por meio da técnica de RLS. Os regressores utilizados foram: (a) ordem de solo; (b) subordem e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados; e (c) grupamentos texturais de solo (Tabela 9).

Os resultados indicaram que ao se considerar a ordem de solo como variável preditora na RLS, o modelo tem o potencial para explicar, apenas, 26% da variância de AD dentre os 1.514 perfis de solos representativos da cobertura pedológica do Brasil. Isto decorre de restrições inerentes à grande heterogeneidade de características e propriedades de solos no contexto da maioria das ordens que compõem o SiBCS (Santos et al., 2018). Tais restrições implicam, portanto, na baixa capacidade preditiva do modelo quando se considera apenas a ordem de solo.

Para fazer estimativas de AD com o modelo preditivo da ordem de solo (Tabela 9), o primeiro passo é obter a equação da ordem desejada. Neste sentido, em função do uso de variável *dummy* no modelo, exceto para ordem de interesse, atribui-se o valor 0 (zero) para as demais ordens da equação. Assim, se reduz a equação geral, que envolve as 13 ordens do SiBCS, para um modelo simplificado e exclusivo da ordem que se pretende estimar valores

Tabela 9. Modelos de regressão linear simples (RLS) para predição de água disponível (AD) em solos⁽¹⁾ representativos do Brasil.

Preditor	Equação de regressão (AD em mm cm ⁻¹)	R ² (ajustado)
Ordem de solo	$AD = 1,31492 - 0,65799 \times E - 0,01117 \times F + 0,23597 \times G - 0,14832 \times L + 0,16865 \times M - 0,02639 \times N + 0,58089 \times O - 0,20204 \times P - 0,44634 \times R - 0,45305 \times S + 0,05520 \times T + 0,12921 \times V$ <p>Obs.: o intercepto 1,31492 representa a AD da ordem C.</p>	0,2637
Subordem e grandes grupos selecionados de solo	$AD = 1,217143 - 0,008254 \times CX + 0,124643 \times CXk + 0,324221 \times CXva + 0,168242 \times CY - 0,560220 \times Ek + 0,024077 \times FT + 0,276190 \times FTa + 0,245079 \times FX + 0,680857 \times GJ - 0,086429 \times GM + 0,338929 \times GX + 0,746190 \times GZ - 0,139921 \times LA - 0,082143 \times LB + 0,046138 \times LV - 0,238810 \times LVA + 0,202857 \times LVj + 0,328413 \times LVw + 0,457857 \times MD + 0,279732 \times MT + 0,039524 \times MX - 0,020893 \times NB + 0,153413 \times NV + 0,780357 \times OJ + 0,33 \times OX - 0,199422 \times PA - 0,096688 \times PV - 0,179567 \times PVA + 0,469780 \times PVAva - 0,434738 \times RL - 0,648730 \times RQ - 0,578989 \times RR + 0,050406 \times RY - 0,355275 \times SX + 0,112567 \times TC + 0,307857 \times TCac + 0,260714 \times VE + 0,212232 \times VX$ <p>Obs.: o intercepto 1,217142 representa a AD da subordem CH.</p>	0,4099
Grupamento textural	$AD = 0,53331 + 0,28303 \times \text{arenosa/média} + 0,49859 \times \text{arenosa/média/argilosa} + 0,50759 \times \text{média} + 0,91194 \times \text{média/argilosa} + 0,86049 \times \text{média/(argilosa-muito argilosa)}^* + 1,20309 \times \text{(média a muito argilosa)}^{**} + 0,95822 \times \text{argilosa} + 0,93863 \times \text{(argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)} + 1,87335 \times \text{siltosa}$ <p>Obs.: o intercepto 0,53331 representa a AD do grupamento textural na classe arenosa.</p>	0,6595

de AD. Seja o exemplo para predição de AD na ordem **P** (Argissolos). Exceto para esta ordem, atribui-se o valor 0 (zero) para as 12 ordens restantes da equação geral (Tabela 14). Assim, o modelo ($AD = 1,31492 - 0,65799 \times 0 - 0,01117 \times 0 + 0,23597 \times 0 - 0,14832 \times 0 + 0,16865 \times 0 - 0,02639 \times 0 + 0,58089 \times 0 - 0,20204 \times \mathbf{P} - 0,44634 \times 0 - 0,45305 \times 0 + 0,05520 \times 0 + 0,12921 \times 0$) fica reduzido para: $AD \text{ (mm cm}^{-1}\text{)} = 1,31492 - 0,20204 \times \mathbf{P}$. Deste modo, obtém-se

a equação preditiva de AD exclusiva da ordem **P**. Nesta equação, substituindo-se a ordem **P**, por 1 (um), em função do uso da variável *dummy*, obtém-se o valor estimado de AD ($1,31492 - 0,20204 \times 1$) que é $1,11 \text{ mm cm}^{-1}$. Este valor é muito próximo do valor $1,07 \text{ mm cm}^{-1}$ calculado da AD (Figura 6). Procedendo-se de forma idêntica à ordem **P** (Argissolos), a equação preditiva de AD para a ordem **L** (Latosolos) é: $\text{AD (mm cm}^{-1}\text{)} = 1,31492 - 0,14832 \times \text{L}$. Neste caso, o valor estimado de AD para esta ordem é $1,17 \text{ mm cm}^{-1}$, também muito próximo do valor $1,20 \text{ mm cm}^{-1}$ calculado da AD (Figura 6). De forma análoga podem ser estimados valores de AD para qualquer ordem de solo segundo o SiBCS.

Cabe destacar, no entanto, que apesar dos valores estimados de AD serem muito semelhantes aos calculados para todo território nacional, a análise de resíduos deste modelo mostra que ocorrem algumas restrições com relação aos pressupostos para o uso desta técnica (Apêndice 1.1).

Em função da compartimentação das ordens em subordens e estas em grandes grupos taxonômicos de solos segundo o SiBCS, as classes de solos se tornam mais homogêneas em relação às ordens de solo (Santos et al., 2018). Por isto, os regressores, subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados, aumentam a explicação da variância da AD para um valor ao redor de 41% (Tabela 9).

Para se fazer a predição de AD, por exemplo, em relação à subordem **GX** (Gleissolo Háplico), procede-se de forma semelhante à ordem de solo para se obter a equação exclusiva desta subordem (Tabela 9). Deste modo, a equação preditiva de AD da referida subordem fica reduzido para: $\text{AD (mm cm}^{-1}\text{)} = 1,217143 + 0,338929 \times \text{GX}$ (Tabela 9). Substituindo **GX**, por 1, o valor estimado de AD ($1,217143 + 0,338929 \times 1$) é $1,56 \text{ mm cm}^{-1}$, muito próximo ao valor $1,55 \text{ mm cm}^{-1}$ calculado da AD (Figura 7).

Com este procedimento é possível estimar valores de AD para qualquer subordem ou grande grupo taxonômico de solo selecionado segundo o SiBCS, desde que esteja presente no modelo (Tabela 9). Nota-se que, por meio deste modelo, os valores estimados são muito semelhantes aos calculados. Entretanto, é oportuno mencionar que na análise de resíduos ocorrem algumas discrepâncias quanto aos pressupostos para o emprego de modelos lineares (Apêndice 1.2).

Ao se considerar os grupamentos texturais, independentemente das classes taxonômicas de solos, eles possuem informações de alta relevância relacionadas às características físico-hídrica dos solos (Salter; Williams, 1965, 1969;

Saxton; Rawls, 2006). Por isto, explicam cerca de 66% da variância da AD, conforme o modelo obtido neste estudo (Tabela 9). Cabe destacar que Teixeira et al. (2021), utilizando informações apenas da granulometria (areia total, silte e argila) e sem transformações de dados, como no presente estudo, desenvolveram um modelo de PTF que explica 72% da variância da AD de solos brasileiros. Porém, após transformações de dados, os citados autores obtiveram um novo modelo muito mais preciso com um coeficiente de determinação (R^2) de 99%.

Para se fazer a predição de AD em relação a um determinado grupamento textural, procede-se de forma semelhante à ordem de solo visando obter a equação do grupamento de interesse (Tabela 9). Desta forma, a equação preditiva de AD, por exemplo, para o grupamento textural na classe **arenosa/média**, é: $AD \text{ (mm cm}^{-1}\text{)} = 0,53331 + 0,28303 \times \text{arenosa/média}$ (Tabela 9). Neste caso, substituindo o referido grupamento textural, por 1, o valor estimado de AD é $0,82 \text{ mm cm}^{-1}$ ao passo que o calculado é $0,80 \text{ mm cm}^{-1}$ (Figura 8), sendo, portanto, valores muito próximos entre si. De forma similar podem ser feitas estimativas de AD para qualquer grupamento textural do modelo (Tabela 9).

A análise de resíduos deste modelo que considera apenas os grupamentos texturais mostra uma distribuição aleatória, praticamente normal e com uma amplitude relativamente homogênea em torno da média da raiz quadrada dos resíduos padronizados. Isto é um indicativo que os pressupostos para o emprego de modelos lineares foram atendidos, sugerindo sua adequabilidade para predições de valores de AD (Apêndice 1.3).

4.5.2. Predições de AD por meio de regressão linear múltipla

Ao se acrescentar informações taxonômicas ao melhor modelo preditivo de AD com uma variável regressora, que foi a RLS tendo o grupamento textural como regressor (Tabela 9), foram obtidas duas RLMs. A primeira resultou do acréscimo de informações taxonômicas provenientes das ordens de solo e a segunda, das informações acrescidas pelas subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS.

A RLM desenvolvida com informações de grupamentos texturais e das ordens de solos apresentou um ligeiro aumento na capacidade preditiva em relação à melhor RLS (com R^2 ajustado de 66%). Ela mostrou um coeficien-

te de determinação de apenas 68%. A segunda RLM com informações de grupamentos texturais e das subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados apresentou um coeficiente determinístico ajustado de 71%. Devido a esses resultados, a seguir é discutido, apenas, a segunda RLM com o maior R^2 ajustado. Para facilitar as predições de AD, a referida equação composta de muitos termos foi subdividida por classe de solo, conforme consta na Tabela 10.

A melhor RLM abrangendo informações taxonômicas de 1.514 perfis de solo acrescentou apenas 5% de explicação na variância total de AD ao melhor modelo da RLS (com R^2 ajustado de 66%) que utilizou o grupamento textural como variável regressora. Como visto anteriormente numa das RLS, as subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados explicaram 41% da variância de AD. No entanto, quando esta mesma variável taxonômica é acrescida ao melhor modelo de RLM (com R^2 ajustado de 66%) melhora apenas 5% na explicação da variável resposta. Isto ocorre devido à existência de informações que são comuns a ambos os modelos (RLS e RLM) e, por tal razão, não se somam na explicação da variância total de AD.

O uso de regressões com informações da granulometria e da matéria orgânica (Pidgeon, 1972; Zhou et al., 2005) ou do carbono orgânico (Batjes, 1996; Gaiser et al., 2000) têm mostrado que, por meio destes regressores, os modelos conseguem explicar na faixa de 31% a 92% da variável resposta (AD). No presente estudo, independentemente de análises laboratoriais, o modelo de RLM obtido com informações de grupamentos texturais acrescidos de informações de subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados permitiu explicar cerca de 71% da variância de AD para todo território do Brasil. Em conformidade com as variáveis preditoras desse modelo apoiadas nos resultados de 1.514 perfis de solos, pode-se dizer que suas principais vantagens são: (a) abrange solos minerais e orgânicos; (b) cobre toda a cobertura pedológica do território nacional; e (c) não depende de análises laboratoriais, mas, apenas, de informações disponíveis nas legendas de mapas pedológicos para sua aplicação.

Cabe destacar que na análise dos pressupostos para o uso de modelos lineares não foram constatadas violações aos mesmos, sugerindo que o modelo obtido é adequado para estimativas de AD (Apêndice 1.4).

Tabela 10. Modelo de regressão linear múltipla (RLM com R^2 ajustado = 0,7107) para predição de água disponível (AD) em função de subordens, grandes grupos taxonômicos de solos selecionados e grupamentos texturais de solos (minerais e orgânicos) representativos do Brasil. O modelo completo foi subdividido por classe de solo para facilitar as predições.

Classe de solo ⁽¹⁾	Equação de regressão (AD em mm cm ⁻¹)
CH	AD = 0,09928 + 1,20536 x (argilosa; argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa) Obs.: a classe de solo CH foi utilizada como linha de base no modelo.
CX	AD = 0,57707 + 0,43257 x média + 0,75502 x (média/argilosa ou argilosa) + 1,66755 x siltosa
CXk	AD = 0,75951 + 0,43257 x média + 0,75502 x (média/argilosa; ou argilosa)
CXva	AD = 0,8643 + 0,43257 x média + 0,75502 x (média/argilosa; ou argilosa) + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
CY	AD = 0,7586 + 0,43257 x média + 0,75502 x (média/argilosa; ou argilosa) + 1,66755 x siltosa
EK	AD = 0,09928 + 0,43267 x arenosa + 0,68263 x arenosa/média
FT	AD = 0,64777 + 0,24996 x arenosa/média + 0,43257 x média + 0,71593 x média/(argilosa-muito argilosa)* + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa) + 1,66755 x siltosa
FTa	AD = 0,7774 + 0,71593 x média/(argilosa-muito argilosa)*
FX	AD = 0,7370 + 0,24996 x arenosa/média + 0,71593 x média/(argilosa-muito argilosa)* + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
GJ	AD = 0,84519 + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa) + 1,66755 x siltosa
GM	AD = 0,64311 + 0,24996 x arenosa/média + 0,43257 x média + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
GX	AD = 0,7704 + 0,24996 x arenosa/média + 0,43257 x média + 0,71593 x média/(argilosa-muito argilosa)* + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa) + 1,66755 x siltosa
GZ	AD = 0,82446 + 0,71593 x média/(argilosa-muito argilosa)* + 1,66755 x siltosa
LA	AD = 0,48586 + 0,24996 x arenosa/média + 0,43257 x média + 0,75502 x média/argilosa + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
LB	AD = 0,23587 + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
LV	AD = 0,50964 + 0,24996 x arenosa/média + 0,43257 x média + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
LVA	AD = 0,49749 + 0,24996 x arenosa/média + 0,43257 x média + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)
LVj	AD = 0,52087 + 0,89913 x (argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa)

Continua...

Tabela 10. Continuação

Classe de solo ⁽¹⁾	Equação de regressão (AD em mm cm ⁻¹)
LVw	$AD = 0,64643 + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
MD	$AD = 0,95907 + 0,71593 \times \text{média}/(\text{argilosa-muito argilosa})^*$
MT	$AD = 0,73516 + 0,71593 \times \text{média}/(\text{argilosa-muito argilosa})^* + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
MX	$AD = 0,8241 + 0,43257 \times \text{média}$
NB	$AD = 0,29712 + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
NV	$AD = 0,47143 + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
OJ	$AD = 0,89245 + 0,91755 \times (\text{média a muito argilosa}) + 1,66755 \times \text{siltosa}$
OX	$AD = 0,6296 + 0,91755 \times (\text{média a muito argilosa})$
PA	$AD = 0,5410 + 0,24996 \times \text{arenosa}/\text{média} + 0,49090 \times (\text{arenosa}/\text{média}/\text{argilosa}) + 0,43257 \times \text{média} + 0,71593 \times \text{média}/(\text{argilosa-muito argilosa})^*$
PV	$AD = 0,59779 + 0,24996 \times \text{arenosa}/\text{média} + 0,43257 \times \text{média} + 0,71593 \times \text{média}/(\text{argilosa-muito argilosa})^* + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
PVA	$AD = 0,54724 + 0,24996 \times \text{arenosa}/\text{média} + 0,43257 \times \text{média} + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
PVAva	$AD = 0,89349 + 0,71593 \times \text{média}/(\text{argilosa-muito argilosa})^* + 0,89913 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
RL	$AD = 0,09928 + 0,30371 \times \text{arenosa} + 0,73628 \times \text{média} + 1,50907 \times \text{argilosa}$
RQ	$AD = 0,09928 + 0,46914 \times \text{arenosa}$
RR	$AD = 0,09928 + 0,40251 \times \text{arenosa} + 0,65247 \times \text{arenosa}/\text{média} + 0,83508 \times \text{média}$
RY	$AD = 0,09928 + 0,83483 \times \text{arenosa}/\text{média} + 1,01744 \times \text{média} + 1,33989 \times \text{média}/\text{argilosa} + 1,4840 \times (\text{argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa}) + 2,25242 \times \text{siltosa}$
SX	$AD = 0,09928 + 0,48066 \times \text{arenosa} + 0,73062 \times \text{arenosa}/\text{média} + 0,91323 \times \text{média} + 2,14821 \times \text{siltosa}$
TC	$AD = 0,73358 + 0,43257 \times \text{média} + 0,75502 \times \text{média}/\text{argilosa}$
TCac	$AD = 0,76998 + 0,75502 \times \text{média}/\text{argilosa}$
VE	$AD = 0,57873 + 0,89913 \times (\text{argilosa; argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$
VX	$AD = 0,53025 + 0,89913 \times (\text{argilosa; argilosa/muito argilosa; ou muito argilosa})$

⁽¹⁾As ordens, subordens e de grandes grupos taxonômicos de solos selecionados e suas respectivas simbologias e classes de solos constam nas Tabelas 3 e 6.

*O agrupamento textural "média/(argilosa-muito argilosa)" inclui as texturas média/argilosa/muito argilosa e média/muito argilosa.

Para estimar valores de AD, por exemplo, na classe de solo **PA** (Argissolo Amarelo) e no grupamento textural da classe **arenosa/média**, deve-se utilizar a equação exclusiva da subordem PA no grupamento textural especificado (Tabela 10). Esta equação é obtida por meio de procedimentos semelhantes aos adotados na ordem de solo. Deste modo, o modelo preditivo de AD do PA na textura arenosa/média fica reduzido para: $AD \text{ (mm cm}^{-1}\text{)} = 0,5410 + 0,24996 \times \text{arenosa/média}$. Substituindo o grupamento textural da equação pelo valor 1 ($0,5410 + 0,24996 \times 1$), em função do uso da variável *dummy*, a AD estimada fica em torno de $0,79 \text{ mm cm}^{-1}$ e a mediana calculada para o mesmo solo e grupamento textural (Tabela 6) apresenta o valor de $0,85 \text{ mm cm}^{-1}$.

Na predição de AD de um PA, porém na classe de textura média/muito argilosa, a equação fica reduzida para: $AD \text{ (mm cm}^{-1}\text{)} = 0,5410 + 0,71593 \times \text{média/(argilosa-muito argilosa)}$. De acordo com esta equação, a AD estimada apresenta um valor de $1,26 \text{ mm cm}^{-1}$ ao passo que a calculada possui uma mediana de $1,28 \text{ mm cm}^{-1}$ (Tabela 6).

Procedendo de forma análoga, para se realizar a estimativa de AD na classe OX (Organossolo Háplico) de textura argilosa, a equação fica simplificada para: $AD \text{ (mm cm}^{-1}\text{)} = 0,6296 + 0,91755 \times \text{(média a muito argilosa)}$, o que resulta numa AD estimada de $1,55 \text{ mm cm}^{-1}$. Para este solo, a mediana calculada foi $1,45 \text{ mm cm}^{-1}$ (Tabela 6). De forma semelhante pode-se estimar a AD de qualquer classe de solo em um determinado grupamento textural vigente no modelo.

4.5.3. Avaliação da acurácia e da confiabilidade do melhor modelo

Na avaliação da acurácia, foram considerados os valores da variável resposta (AD) dos 1.514 perfis de solo integrantes do BD utilizado no desenvolvimento do melhor modelo de RLM (Tabela 10). Confrontando os resultados calculados da variável resposta com os resultados preditos pelo melhor modelo, obteve-se um ME (erro médio) com um valor de $0,0055 \text{ mm cm}^{-1}$ e uma RMSE (raiz do erro quadrático médio) de $0,2536 \text{ mm cm}^{-1}$. Teixeira et al. (2021) obtiveram uma RMSE de $0,37 \text{ mm cm}^{-1}$ ao utilizar uma PTF desenvolvida com informações apenas da granulometria (areia total, silte e argila). Cabe destacar que os valores da RMSE reportados na literatura, relacionados ao conteúdo volumétrico de água no solo, situam-se numa faixa de $0,20 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,10 \text{ mm cm}^{-1}$ (Wösten et al., 2001). Em função destes referenciais e considerando que a RMSE sintetiza o efeito combinado

de erros sistemáticos e aleatórios (Wösten et al., 2013), percebe-se que a RLM obtida com um R^2 (ajustado) de 71% (Tabela 10) e uma RMSE de 0,2536 mm cm^{-1} apresenta uma boa acurácia global.

A verificação da confiabilidade (validação) do melhor modelo de RLM (Tabela 10) foi realizada por meio do confronto de resultados preditos pela RLM com valores calculados (medianas) e valores observados da variável resposta de um BD com 33 perfis de solos totalmente independente daquele BD utilizado na modelagem. Vale destacar que o BD organizado para validação do melhor modelo compreende solos de 10 ordens do SiBCS e abrange agrupamentos texturais desde a classe arenosa até a muito argilosa.

Os resultados dos indicadores estatísticos ME e RMSE e os valores de AD observados (ADo), calculados (ADc) e estimados (ADe) estão apresentados na Tabela 11. Ao se analisar o ME, indicativo de desvios sistemáticos, notam-se valores muito baixos, na faixa de -0,0261 mm cm^{-1} a -0,0064 mm cm^{-1} . Cabe destacar que os valores negativos do ME indicam ligeiras subestimativas do modelo em relação aos resultados observados. No concernente à RMSE, observam-se resultados no entorno de 0,20 mm cm^{-1} , isto é, no limite inferior aos valores reportados na literatura (Wösten et al., 2001).

Portanto, os valores da RMSE deste estudo, estão de acordo com os referenciais disponíveis na literatura (Wösten et al., 2001), sugerindo uma boa confiabilidade do modelo para predição de AD de solos representativos do Brasil.

4.6. Protocolo para elaboração de mapas de água disponível

No presente estudo, foi desenvolvido um protocolo de procedimentos para elaborar mapas da AD, em qualquer escala, o qual está detalhado em seguida. O protocolo se apoia, sobretudo, no uso de mapas pedológicos, os quais, são estratificadores ambientais e permitem reduzir a variância interna nas suas Unidades de Mapeamento (UMs) (Leenhardt et al., 1994).

Além de mapas pedológicos, o protocolo requer informações que constam no catálogo de AD de solos do Brasil organizadas neste trabalho (Tabelas 6 e 8; e Figura 8). As informações do catálogo viabilizam o cálculo de valores de AD das UMs que integram os mapas de solos. Os textos que sintetizam as

Tabela 11. Banco de dados de perfis de solos com valores de água disponível (AD) para avaliação da confiabilidade do melhor modelo preditivo de AD de solos representativos do Brasil.

Perfil	Classe de solo*	Grupo-textural	Valor da AD (mm cm ⁻¹)			Desvios do valor observado da AD (mm cm ⁻¹)			
			ADo ⁽¹⁾	ADc ⁽²⁾	ADe ⁽³⁾	ADc-ADo	ADe-ADo	(ADo-ADc) ⁽²⁾	(ADo-ADe) ⁽²⁾
1	LA	Média	0,72	0,91	0,92	0,19	0,20	0,04	0,04
2	LA	Média	0,98	0,91	0,92	-0,07	-0,06	0,00	0,00
3	LA	Média	1,01	0,91	0,92	-0,1	-0,09	0,01	0,01
4	PVA	Média/argilosa	1,36	1,31	1,26	-0,05	-0,10	0,00	0,01
5	LA	Média	0,61	0,91	0,92	0,3	0,31	0,09	0,10
6	CX	Média	0,70	0,97	1,01	0,27	0,31	0,07	0,10
7	LA	Média	0,94	0,91	0,92	-0,03	-0,02	0,00	0,00
8	PA	Média	0,84	0,86	0,97	0,02	0,13	0,00	0,02
9	FT	Arenosa/média	0,65	0,86	0,90	0,21	0,25	0,04	0,06
10	FT	Arenosa/média	0,69	0,86	0,90	0,17	0,21	0,03	0,04
11	PVA	Média	0,84	1,06	0,98	0,22	0,14	0,05	0,02
12	PA	Média	1,23	0,86	0,97	-0,37	-0,26	0,14	0,07
13	PVA	Arenosa/média	0,55	0,87	0,80	0,32	0,25	0,10	0,06
14	FT	Média/argilosa	1,36	1,27	1,36	-0,09	0,00	0,01	0,00
15	PVA	Média/argilosa	1,55	1,31	1,26	-0,24	-0,29	0,06	0,09
16	FT	Média	0,94	1,15	1,08	0,21	0,14	0,04	0,02
17	RQ	Arenosa	0,62	0,57	0,57	-0,05	-0,05	0,00	0,00
18	RQ	Arenosa	0,67	0,57	0,57	-0,1	-0,10	0,01	0,01
19	LA	Média	0,80	0,91	0,92	0,11	0,12	0,01	0,01
20	RY	Média/arenosa	0,60	0,76	0,93	0,16	0,33	0,03	0,11
21	CY	Média	1,45	1,24	1,19	-0,21	-0,26	0,04	0,07
22	VX	Muito argilosa	1,59	1,40	1,43	-0,19	-0,16	0,04	0,03

continua...

Tabela 11. Continuação.

Perfil	Classe de solo*	Grupo-textural	Valor da AD (mm cm ⁻¹)			Desvios do valor observado da AD (mm cm ⁻¹)			
			ADo ⁽¹⁾	ADc ⁽²⁾	ADe ⁽³⁾	ADc-ADo	ADe-ADo	(ADo-ADc) ⁽²⁾	(ADo-ADe) ⁽²⁾
23	GX	Siltosa	2,25	2,30	2,44	0,05	0,19	0,00	0,04
24	PV	Média/argilosa	1,49	1,31	1,31	-0,18	-0,18	0,03	0,03
25	RL	Média	0,84	0,75	0,84	-0,09	0,00	0,01	0,00
26	TC	Média/argilosa	1,90	1,47	1,49	-0,43	-0,41	0,18	0,17
27	SX	Arenosa**	0,81	0,50	0,58	-0,31	-0,23	0,10	0,05
28	RR	Arenosa/média	0,80	0,68	0,75	-0,12	-0,05	0,01	0,00
29	RR	Arenosa	0,74	0,52	0,50	-0,22	-0,24	0,05	0,06
30	PA	Arenosa/média	1,05	0,85	0,79	-0,2	-0,26	0,04	0,07
31	NV	Argilosa	1,40	1,31	1,37	-0,09	-0,03	0,01	0,00
32	SX	Média**	0,89	1,07	1,01	0,18	0,12	0,03	0,02
33	LVA	Arenosa/média	0,86	0,73	0,75	-0,13	-0,11	0,02	0,01
Soma						-0,86	-0,21	1,3030	1,3028
Indicadores estatísticos						ME1 -0,0261	ME2 -0,0064	RMSE1 0,1990	RMSE2 0,1987

⁽¹⁾ADo: valor observado da água disponível; ⁽²⁾ADc: valor calculado da mediana de água disponível; ⁽³⁾ADe: valor estimado de água disponível pelo melhor modelo de RLM com um R² ajustado de 71% (Tabela 10).

*A simbologia das subordens e suas respectivas classes de solos constam na Tabela 6. **Textura dos horizontes superficiais (A ou A + E).

informações das UMs constam nas legendas dos mapas pedológicos e nos documentos explicativos dos referidos mapas.

O protocolo de procedimentos - Este compreende duas partes: (1) o cálculo do valor de AD de cada UM, composta de um até cinco componentes; e (2) a espacialização cartográfica de valores de AD.

Primeira parte - O cálculo do valor de AD de uma UM integrante de um mapa de solo é realizado por meio de uma média ponderada das medianas

(para AD não-normal e heterocedástica) de AD dos seus componentes, sendo os pesos, as proporções dos componentes, conforme fórmula a seguir:

$$AD_{UM} = (ADc1.f1.p1 + ADc2.f2.p2 + \dots + ADcn.fn.pn) / (p1 + p2 + \dots + pn) \quad (3)$$

onde AD_{UM} é o valor calculado representativo de água disponível da UM, com 1 (um) até 5 (cinco) componentes; ADc é a água disponível de um componente “c” ($c \leq 5$); “f” ($f \leq 1$) é um fator de correção para atributos que restringem a água disponível (frações grossas, salinidade etc.); e “p” ($p \leq 100\%$) é a proporção de cada componente na UM. Quando na legenda ou no documento explicativo do mapa de solos não constar a proporção dos componentes (dois ou mais) nas associações recomenda-se, com base no conhecimento empírico, utilizar as seguintes: (60% + 40%), (50% + 30% + 20%), (40% + 20% + 20% + 20%) e (20% + 20% + 20% + 20% + 20%), respectivamente, para UMs com 2, 3, 4 e 5 componentes.

Para se chegar no valor da AD_{UM} (Eq.3), doravante referida apenas como AD, primeiro se calcula a ADc , isto é, a água disponível de cada componente (solo ou tipo de terreno) da UM. Este cálculo se fundamenta nos valores das medianas dos grupamentos texturais (conforme catálogo, item 4.4) de cada classe de solo ou do tipo de terreno.

A seguir são apresentados os passos gerais, orientadores, a serem seguidos para o cálculo de ADc .

Passo 1 - Inicialmente se faz uma análise prévia da UM no mapa pedológico a qual pode compreender de um até cinco componentes. Verifica-se a natureza deles (solos ou tipos de terreno); anota-se em planilha eletrônica a simbologia dos solos componentes, por exemplo: Latossolo Amarelo Distrófico (LAd); a partir dessa simbologia se buscam as informações de medianas de AD dos grupamentos texturais de solos no catálogo organizado neste estudo (item 4.4); e verificam-se informações sobre atributos vigentes na legenda do mapa de solos que restrinjam a AD, sobretudo, frações grossas (cascalhos, pedregosidade, rochosidade etc), salinidade e/ou sodicidade. Em seguida se calcula a ADc de cada componente da UM, conforme os passos que se seguem;

Passo 2 - Quando um componente de uma UM (composta de dois ou mais componentes) ou o componente único de uma UM tiver apenas um grupamento textural, então a mediana deste grupamento (disponível no catálogo, item 4.4)

representa a ADc. Seja, por exemplo, o componente: LAd - Latossolo Amarelo Distrófico textura média. Conforme o catálogo deste estudo (item 4.4, Tabela 6), a ADc deste componente tem o valor de 0,91 mm cm⁻¹. Entretanto, se na legenda de solos constar a presença de um ou mais atributos que restrinjam a água disponível (frações grossas, salinidade, sodicidade etc.) do componente, então deve-se fazer a correção da ADc. A correção será feita multiplicando-se o valor da ADc por um fator (f) conforme o impacto da restrição no componente. Os diversos atributos que causam restrições, bem como seus níveis de impacto, constam nas Tabelas de 12 a 15. Quando não há restrições, o fator de correção tem o valor unitário (f = 1). Se houver dois ou mais atributos limitando simultaneamente a ADc, então o fator será obtido por meio da seguinte fórmula:

$f = 1 - [(d1 + d2 + \dots + dn) / 100]$	(4)
--	-----

onde “f” é o fator para correções múltiplas de atributos que afetam simultaneamente a ADc; e “d” é a percentagem de desconto na ADc de cada atributo limitante conforme sua natureza (cascalhos, pedregosidade, rochosidade, salinidade, sodicidade etc.) (Tabelas de 12 a 15). Caso a porcentagem dos descontos (d1 + d2 + ... + dn) somar um valor ≥ 100%, então a ADc = 0;

Passo 3 - Se o componente de uma UM (composta de dois ou mais componentes) ou o componente único da UM apresentar mais de um grupamento textural, o que é comum nas legendas dos mapas pedológicos mais generalizados (por exemplo: textura arenosa/média e média/argilosa), o valor representativo da água disponível deste componente (ADc) corresponderá a uma média ponderada das medianas de AD dos grupamentos texturais deste componente. Para dois grupamentos texturais, os pesos atribuídos para o cálculo da ADc serão 60% e 40%. Se houver três, serão 50%, 30% e 20%. Caso haja a presença de atributos limitantes na ADc, proceder como indicado no passo 2;

Passo 4 - Se o componente da UM (composta de dois ou mais componentes) ou o componente único da UM, for um complexo de solos ou um grupamento indiferenciado, contendo duas ou mais classes de solo (exemplo: complexo de: Luvisolo Crômico textura média/agilosa-Cambissolo Háptico textura argilosa), a ADc corresponde a uma média ponderada das medianas de água disponível das classes de solo, conforme seus respectivos grupamentos texturais. Para duas classes de solos, ou um solo e um tipo de terreno, os pesos atribuídos para o cálculo da ADc serão: 60% e 40%; para três, serão 50%, 30% e 20%. No exemplo acima, a ADc será: (1,47x 60 + 1,32 x 40) / 100, isto é,

1,41 mm cm⁻¹ em acordo com o catálogo deste estudo. Caso haja a presença de atributos limitantes na ADc, proceder como indicado no passo 2;

Tabela 12. Cascalhos (2 mm - 2 cm) e critérios para desconto do seu impacto na água disponível (AD) (primeira aproximação).

Classe de cascalhos	Posição no perfil de solo	Exemplos de grupamento textural	% de desconto na AD	Fator (f) de correção na AD
Pouco cascalhenta ⁽¹⁾ (8-15%)	- Qualquer posição	- Média pouco cascalhenta; - Média/argilosa pouco cascalhenta	0	1,00
Cascalhenta (15-50%)	- Na maior parte dos primeiros 100 cm	Arenosa cascalhenta/ média cascalhenta	30	0,70
	- Dentro dos primeiros 50 cm	Média cascalhenta/ argilosa	15	0,85
	- Predominando abaixo de 50 cm	Arenosa /média cascalhenta;	15	0,85
Muito cascalhenta ⁽²⁾ (> 50%)	- Na maior parte dos primeiros 100 cm	Média muito cascalhenta/ argilosa muito cascalhenta	50	0,50
	- Dentro dos primeiros 50 cm	Arenosa muito cascalhenta/ média	25	0,75
	- Predominando abaixo de 50 cm	Média/argilosa muito cascalhenta	25	0,75

⁽¹⁾Conforme estudos de Petersen et al. (1968b), a AD praticamente não é afetada até 15% de frações grossas no solo;

⁽²⁾Quando o qualificativo de cascalhos da textura for "muito cascalhenta" em superfície e "cascalhenta" em subsuperfície, o desconto sugerido é de 50% na AD em função do qualificativo de maior intensidade (muito cascalhenta).

Fonte: Petersen et al. (1968b), Saxton e Rawls (2006) e Santos et al. (2015)

Tabela 13. Pedregosidade (calhaus: 2 cm a 20 cm; e matacões 20 cm a 100 cm) e/ou materiais cimentados ocupando 15% ou mais da massa do solo e critérios para desconto do impacto destes materiais na água disponível (AD) do solo (primeira aproximação).

Atributo ⁽¹⁾	Posição no perfil	% de desconto na AD	Fator (f) de correção na AD
Fase pedregosa	Em todo perfil ou na parte mais superficial do perfil até profundidade > 40 cm	30	0,70
Fase pedregosa e não pedregosa	Em todo perfil ou na parte mais superficial do perfil até profundidade > 40 cm	15	0,85
Fase epipedregosa	Dentro dos primeiros 40 cm	15	0,85
Fase endopedregosa	Abaixo de 40 cm de profundidade	15	0,85
Horizonte litoplíntico e/ou concrecionário	Em qualquer posição no perfil, dentro de 150 cm	30	0,70
Caráter litoplíntico e/ou concrecionário	Abaixo de 40 cm e dentro de 150 cm de profundidade	15	0,85
Caráter dúrico	Dentro dos primeiros de 150 cm	15	0,85

⁽¹⁾Estes atributos não se aplicam aos Plintossolos Pétricos, mas aos demais Plintossolos (Argilúvicos e Hápicos). No caso específico dos Plintossolos Pétricos utilizar um fator $f = 0,5$ para correção das frações grossas; caso haja especificação da percentagem de frações grossas (FG), o fator será $f = (1 - \%FG / 100)$; porém, quando se tratar de solos classificados como Plintossolos Pétricos de textura indiscriminada, por falta de estudos, recomenda-se usar um valor de mediana de $AD = 0,3 \text{ mm cm}^{-1}$.

Fonte: Saxton e Rawls (2006) e Santos et al. (2015, 2018).

Tabela 14. Rochosidade (afioramentos de rochas e/ou matacões > 100 cm) ocupando 25% ou mais da superfície do terreno e critérios para desconto do seu impacto na água disponível (AD) do solo (primeira aproximação).

Fase	Descrição	% de desconto na AD	Fator (f) de correção na AD
Fase rochosa	Os afloramentos tornam impraticável a mecanização agrícola e cobrem mais de 25% da área	30	0,70
Fase rochosa e não rochosa	Os afloramentos ocorrem de forma descontínua na UM, mas tornam impraticável a mecanização agrícola e cobrem mais de 25% da área	15	0,85

OBS.: Quando houver informações quantitativas mais precisas na legenda de solos, fazer os descontos conforme tais valores, aplicando regra de três simples para o cálculo de descontos na AD.

Fontes: Saxton e Rawls (2006), Santos et al. (2015, 2018).

Tabela 15. Sais solúveis e/ou sódio trocável e critérios para desconto dos seus impactos na água disponível (AD) do solo (primeira aproximação).

Atributo	% de desconto na AD	Fator (f) de correção na AD
Caráter salino ($4 \leq \text{CEe} < 7$ dS/m)	15	0,85
Caráter salíco (nível 1) $7 \leq \text{CEe} < 20$ dS/m	30	0,70
Caráter salíco (nível 2) $\text{CEe} \geq 20$ dS/m	50	0,50
Caráter solódico ($6\% \leq \text{PST} < 15\%$)	15	0,85
Caráter sódico (nível 1) ($15\% \leq \text{PST} < 25\%$)	30	0,70
Caráter sódico (nível 2) ($\text{PST} \geq 25\%$)	50	0,50

OBS.: Quando houver informações quantitativas mais precisas de sais solúveis e sódio trocável na legenda de solos, fazer os descontos conforme tais valores, aplicando regra de três simples para o cálculo de descontos na AD.

Fonte: Ayers e Westcot (1976), Jayawardane e Chan (1994), Shaw et al. (1994) e Santos et al. (2018)

Passo 5 – Quando houver Afloramentos de Rocha (AR) em uma UM, atribuir o valor zero (0) para representar a mediana da AD deste tipo de terreno. Se for outro tipo de terreno, diferente de AR, então calcular/estimar ou atribuir um valor adequado para cada tipo de terreno específico;

Passo 6 – Caso a UM apresentar um ou mais componentes da classe dos Plintossolos Pétricos (ou um solo concrecionário de textura indiscriminada), sem especificação de grupamentos texturais, atribui-se de forma empírica um valor de $0,3 \text{ mm cm}^{-1}$ para representar a ADc de tais solos. Entretanto, quando houver um grupamento textural especificado, a mediana de AD deste grupamento (disponível no catálogo, item 4.4) deverá ser multiplicada por um fator de correção (neste caso, o valor mínimo é $f = 0,5$) para se gerar o valor mais apropriado da ADc. Caso haja especificação da percentagem de frações grossas (FG), o fator será: $f = [1 - (\%FG / 100)]$. Se existir mais de um grupamento textural vinculado à classe de solo em questão, primeiro se faz a média ponderada dos valores da mediana de AD dos respectivos grupamentos texturais, e depois se aplica o fator de correção. Quando houver dois grupamentos de textura, os pesos atribuídos para calcular a ADc serão: 60% e 40%; para três, 50%, 30% e 20%;

Passo 7 – Quando na legenda de solos faltar especificações de grupamentos texturais de solos (por exemplo: textura indiscriminada), o que é mais frequente nos mapas muito generalizados e em UMs relacionadas aos ambientes de várzeas (em solos desenvolvidos a partir de sedimentos aluvionares, colúvio-aluvionares, flúvio-marinhos etc), é possível fazer a estimativa de ADc em algumas

situações, conforme a seguir: (1) utilizar informações de grupamentos texturais em outros mapas de solos, em escala semelhante ou mais detalhada, na mesma área da UM em questão e buscar o valor de ADc apropriado no catálogo (item 4.4); (2) caso não haja informações disponíveis em outros mapas pedológicos, outra alternativa é observar no mapa de solos em estudo os grupamentos texturais nas UMs circunvizinhas (fontes de sedimentos) que contribuem com sedimentos para os solos de baixada (Gleissolos, Neossolos Flúvicos, Cambissolos Flúvicos etc) e atribuir para estes últimos, grupamento(s) texturais semelhante(s) ao(s) das fontes de sedimentos. Com base nestes procedimentos é possível estimar a ADc de componentes da UM com textura indiscriminada conforme os passos de 2 a 4; ou então deixar tais solos de textura indiscriminada sem um valor estimado de ADc.

Passo 8 – Este passo refere-se à estimativa de ADc para quaisquer grupamentos texturais que não constem no catálogo deste estudo. Tais grupamentos são mais frequentes em solos formados por estratos diversos, compostos de sedimentos aluvionares, colúvio-aluvionares ou flúvio-marinhos, como é comum nos Neossolos Flúvicos. Também podem ocorrer noutras classes de solos, como em Gleissolos, Cambissolos, Argissolos, Plintossolos, Planossolos entre outras. A estimativa se baseia na relação existente entre a AD e os grupamentos texturais (item 4.4.4, Figura 8). Para estimar a AD dos mencionados grupamentos, proceder da seguinte forma: (i) primeiro, buscam-se os valores de AD (Figura 8) correspondente às texturas dos horizontes/camadas que formam o grupamento textural do perfil de solo. Se o grupamento textural for binário, buscam-se dois valores de AD e se for ternário, três valores de AD; (ii) depois se calcula uma média dos valores da AD, conforme o grupamento textural seja binário ou ternário. Exemplo: “Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico textura argilosa/arenosa/muito argilosa”. Neste exemplo, são três classes de textura integrando o grupamento textural ternário. A primeira camada é argilosa ($AD = 1,39 \text{ mm cm}^{-1}$); a segunda é arenosa ($AD = 0,51 \text{ mm cm}^{-1}$); e terceira é muito argilosa ($AD = 1,41 \text{ mm cm}^{-1}$), conforme valores de AD na Figura 8. No que concerne à terceira camada de textura muito argilosa, ela é representada pelo grupamento textural na classe argilosa/muito argilosa (Figura 8). Em seguida se faz a média de AD das três camadas: $(1,39 + 0,51 + 1,41) / 3$ cujo resultado é $1,10 \text{ mm cm}^{-1}$. Este resultado representa, portanto, a estimativa de AD do grupamento textural argilosa/arenosa/muito argilosa em questão. Entretanto, se houver informações das espessuras dos horizontes/camadas, deve-se fazer a média ponderada dos valores de AD utilizando as espessuras como pesos. Por

meio deste procedimento pode-se estimar a AD de quaisquer combinações de grupamentos texturais existentes nas legendas dos mapas pedológicos.

Portanto, observando os passos de 1 a 8, pode-se calcular a ADc de todos os componentes de uma UM e, em consequência, a AD da própria UM conforme Eq.3. Recomenda-se utilizar uma planilha eletrônica e nela inserir as siglas de cada UM que integram o mapa de solos. Essas siglas devem constar numa coluna específica para, posteriormente, viabilizar a união das informações da planilha eletrônica (salva como *.csv) com o banco de dados do mapa de solos em ambiente SIG.

Segunda parte - Depois de organizados os valores de AD de cada UM, segue-se a etapa de realizar a união da tabela da planilha eletrônica (formato *.csv) com a tabela de atributos do mapa de solos (formato *.shp; ou *.gdb) em um SIG (tipo ArcGis, QGis etc). A união das mencionadas tabelas é feita por meio da coluna comum a ambas que é a sigla, única, de cada UM.

Ainda nesta etapa são estabelecidas classes de AD, em conformidade com os seus valores e objetivos do trabalho, de modo a viabilizar sua adequada representação cartográfica. Neste protocolo são adotadas sete classes. As classes de AD1 a AD6 (Tabela 16) estão em conformidade com demandas específicas do Zarc (Teixeira et al., 2021). A classe AD0 foi adicionada para viabilizar o mapeamento de ambientes com os valores mais baixos de AD ($< 0,34 \text{ mm cm}^{-1}$). São ambientes individualizados em UMs onde predominam afloramentos de rocha, fases rochosas e/ou pedregosas entre outras. No mapeamento da capacidade de água disponível da China, também foram adotadas sete classes (Zhou et al., 2005).

4.7. Mapa de água disponível de solos do Brasil

O mapa com a distribuição espacial de AD, conforme a cobertura pedológica do Brasil, está apresentado na Figura 9. O mapa foi, originalmente, elaborado numa base cartográfica 1:250.000 (Apêndice 2) a partir do mapa pedológico disponibilizado pelo IBGE (2020) na internet. A confecção do mapa seguiu o protocolo desenvolvido neste estudo (item 4.6), demonstrando sua efetividade. As cores utilizadas na legenda do mapa estão de acordo com os padrões estabelecidos na Tabela 16, constando de sete classes de AD. Na literatura, o número de classes deste parâmetro tem sido diversificado conforme os objetivos e escalas de estudo. Para representar a capacidade de água disponível da China, na escala 1:4.000.000, Zhou

Tabela 16. Classes de medianas de água disponível no solo e seus padrões de cores em RGB.

Classe		RGB		
Símbolo / cor	Intervalo (mm/cm)	R	G	B
AD0	< 0,34	156	156	156
AD1	0,34 a 0,47	255	255	115
AD2	0,48 a 0,67	255	171	0
AD3	0,68 a 0,94	77	230	0
AD4	0,95 a 1,32	0	196	255
AD5	1,33 a 1,84	0	92	230
AD6	> 1,84	133	0	168

Obs.: As classes de AD1 a AD6 estão em conformidade às demandas específicas do Zarc (Teixeira et al., 2021).

et al. (2005) adotaram sete classes; por sua vez, no mapa da África, na escala 1:5.000.000, Batjes (1996) adotou oito classes; já no mapa da Coreia do Sul, na escala 1:25.000, Hong et al. (2013) adotaram 11 classes. Recentemente foi elaborado um mapa da CAD de solos do Brasil (Agência Nacional de Águas, 2021) na escala 1:250.000 utilizando apenas cinco classes da CAD.

Observando o mapa (Figura 9), nota-se que os valores mais elevados de AD ($> 1,84 \text{ mm cm}^{-1}$), representados pela cor roxa do mapa, destacam-se em áreas pouco expressivas, sobretudo, no contexto da bacia amazônica, na região Norte do País. Isto é uma consequência direta da presença de solos desenvolvidos a partir de sedimentos com alto conteúdo da fração silte, em geral, também possuindo argila de atividade alta. Nas várzeas do rio Amazonas e de seus afluentes, os referidos solos relacionam-se com Gleissolos Ta Eutróficos de textura siltosa e siltosa/argilosa; já na parte Oeste da região Norte, estão localizados em ambientes vinculados aos sedimentos da Formação Solimões e correspondem aos Argissolos Vermelho-Amarelos Alumínicos de textura siltosa/argilosa ou muito argilosa. Os mapas muito generalizados da CAD dos solos do Brasil, um elaborado por Rossato (2002) e outro pela ANA em parceria com a UFPR (Agência Nacional de Águas, 2021), também destacam que a parte ocidental da região Norte é a que apresenta os valores mais elevados deste parâmetro.

Os valores considerados altos de AD, na faixa de $1,33 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,84 \text{ mm cm}^{-1}$, mostrados na cor azul escuro do mapa, ocorrem em ambientes dispersos em todo território nacional. Porém, o maior destaque também é na

região Norte, vindo depois as regiões Sudeste e Sul e, em menor proporção, o Centro-Oeste e o Nordeste. Na região Norte, relacionam-se aos Argissolos Vermelho-Amarelos Alumínicos de textura média/argilosa; aos Argissolos Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa; aos Luvisolos Crômicos e Háplicos de textura média/argilosa e muito argilosa; aos Gleissolos Háplicos de textura argilosa/siltosa e argilosa; e aos Plintossolos Argilúvicos de textura média/argilosa; no Sudeste relacionam-se aos Latossolos Vermelho-Amarelos

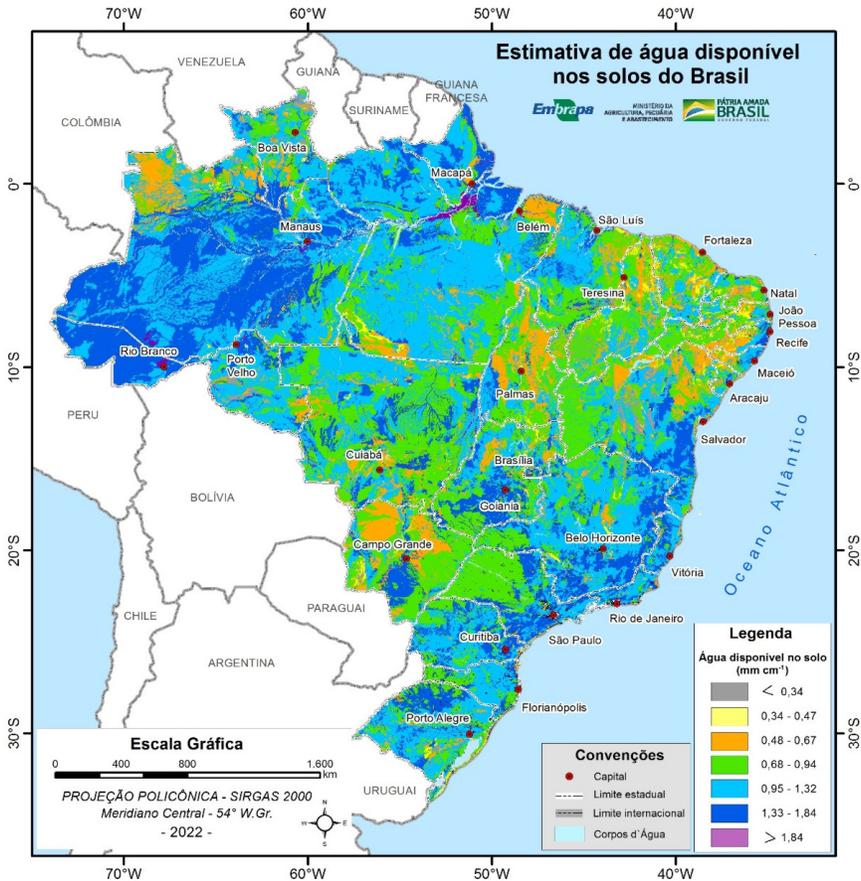


Figura 9. Mapa de água disponível de solos representativos da cobertura pedológica do Brasil. A escala original está na base cartográfica 1:250.000.

de textura argilosa e muito argilosa; aos Cambissolos Háplicos Alumínicos de textura argilosa; e aos Gleissolo Háplicos de textura argilosa e muito argilosa; no Sul, aos Latossolos Vermelhos de textura muito argilosa e argilosa e Gleissolo Háplicos de textura argilosa e muito argilosa; no Centro-Oeste, aos Latossolos Vermelhos de textura argilosa e muito argilosa; aos Gleissolo Háplicos de textura argilosa e muito argilosa; e aos Neossolos Flúvicos de textura argilosa a muito argilosa; e finalmente, no Nordeste, aos Latossolos Amarelos de textura argilosa e muito argilosa; aos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura média/argilosa; aos Cambissolos Háplicos de textura argilosa e muito argilosa; aos Gleissolo Háplicos de textura argilosa e muito argilosa; e aos Neossolos Flúvicos de textura argilosa a muito argilosa.

Os valores considerados médios de AD, na faixa de $0,95 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,32 \text{ mm cm}^{-1}$, vistos na cor azul claro do mapa, também ocorrem dispersos em todo País, com maior destaque na região Norte. Em menor extensão geográfica, ocorrem nas regiões Sudeste e Sul, vindo depois o Centro-Oeste e o Nordeste. Na região Norte relacionam-se aos Argissolos Vermelho-Amarelos de textura média/argilosa e aos Latossolos Vermelho-Amarelos de textura argilosa; no Sudeste, aos Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura argilosa e muito argilosa; aos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura média/argilosa; e aos Cambissolos Háplicos de textura média e argilosa; no Sul, aos Cambissolos Húmicos de textura argilosa e muito argilosa; aos Cambissolos Háplicos Alumínicos de textura média e argilosa; e aos Argissolos Vermelho-Amarelos de textura média/argilosa; no Centro-Oeste, aos Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos de textura média/argilosa e média; e aos Latossolos Vermelhos de textura média; e no Nordeste, aos Argissolos Vermelho-Amarelos de textura média/argilosa; aos Cambissolos Háplicos de textura média; e aos Latossolos Amarelos de textura média.

Os valores considerados baixos de AD, na faixa de $0,68 \text{ mm cm}^{-1}$ a $0,94 \text{ mm cm}^{-1}$, representados na cor verde do mapa, também ocorrem dispersos em todas as regiões do País, mas com maior destaque nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Em menor extensão geográfica, ocorrem nas regiões Sudeste, Sul e Norte. Na região Norte, relacionam-se aos Latossolos Vermelho-Amarelos de textura argilosa (cascalhenta); aos Latossolos Vermelho-Amarelos petroplínticos de textura argilosa; e aos Latossolos Amarelos de textura média e argilosa; no Sudeste, aos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura

arenosa/média e média; no Sul, aos Argissolos Vermelho-Amarelos de textura média (cascalhenta)/argilosa (cascalhenta); e aos Cambissolos Háplicos de textura argilosa; no Centro-Oeste, aos Latossolos Vermelhos de textura média; aos Planossolos Háplicos espessarênicos; aos Plintossolos Argilúvicos de textura arenosa/média e argilosa; e no Nordeste, aos Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos de textura arenosa/média e média; aos Latossolos Amarelos de textura média; aos Neossolos Quatzarênicos; aos Neossolos Regolíticos de textura arenosa e arenosa/média; aos Planossolos Háplicos e Nátricos de textura arenosa e média/média; e aos Neossolos Litólicos de textura arenosa e média.

Os valores considerados muito baixos de AD, na faixa de a 0,48 mm cm⁻¹ a 0,67 mm cm⁻¹, expressos na cor laranja do mapa, ocorrem em maior extensão geográfica nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. Em menor proporção, são observados no extremo norte da região Norte, vindo depois áreas localizadas no extremo sul do País. Na região Nordeste relacionam-se aos Neossolos Quatzarênicos; aos Neossolos Regolíticos de textura arenosa (cascalhenta); aos Planossolos Háplicos e Nátricos de textura arenosa e média/média; e aos Neossolos Litólicos de textura arenosa e média (cascalhenta); no Centro-Oeste, aos Neossolos Quatzarênicos; aos Plintossolos Pétricos concrecionários; aos Cambissolos Háplicos de textura média e argilosa (cascalhenta); no Sudeste e Sul, aos Neossolos Litólicos de textura arenosa e média (cascalhenta); e no extremo norte, aos Espodossolos; e aos Neossolos Litólicos de textura arenosa e média (cascalhenta).

Os valores considerados extremamente baixos de AD, na faixa de 0,34 mm cm⁻¹ a 0,47 mm cm⁻¹, na cor amarelo claro do mapa, ocorrem em ambientes com pequena extensão geográfica, dispersos em todas as regiões do País, mas com ligeira predominância na região Nordeste. Relacionam-se, sobretudo, aos Neossolos Litólicos de textura arenosa e média (cascalhenta); aos sedimentos de dunas móveis; e aos solos pedregosos indiscriminados, por vezes, em associação com afloramentos de rocha.

Os valores de nulos até o limite com aqueles extremamente baixos de AD (< 0,34 mm cm⁻¹), vistos na cor cinza no mapa, ocorrem em ambientes relativamente localizados, restritos a pequenas extensões geográficas. Estão dispersos em todas as regiões do território nacional, porém sendo mais evidentes na região Nordeste do Brasil. Relacionam-se aos Neossolos Litólicos associados aos afloramentos de rocha e aos solos pedregosos e/ou rochosos indiscriminados.

As proporções das classes de AD discutidas anteriormente e mapeadas no território nacional constam na Figura 10.

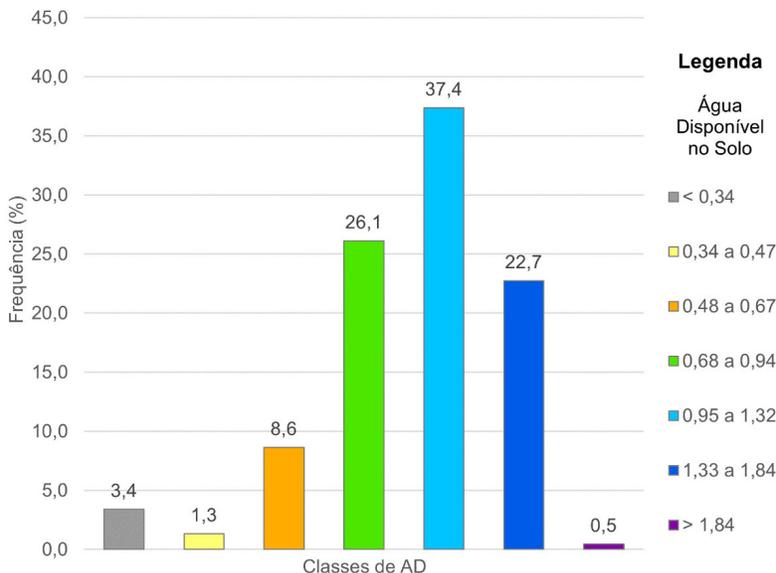


Figura 10. Proporção das classes de AD (mm cm⁻¹) nos solos representativos da cobertura pedológica do território nacional.

Comparando-se resultados do mapa de AD deste estudo com os resultados da CAD elaborado pela ANA em parceria com a UFPR (Agência Nacional de Águas, 2021), notam-se convergências e divergências entre ambos. No que concerne às convergências, os mapas apontam grandes ambientes com valores relativamente elevados de AD (1,33-1,84 mm cm⁻¹) tanto na região Norte quanto no Sul do Brasil. No entanto, no presente estudo também são mostradas outras áreas onde ocorrem valores desta magnitude, como ao longo da costa leste e em partes da região Centro-Oeste do território nacional (Figura 9).

As divergências, por outro lado, se concentram na região Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste, onde são notórios valores mais elevados de AD no presente estudo (0,68-0,94 mm cm⁻¹) em relação aos resultados da ANA (0,25-0,75 mm cm⁻¹) (Agência Nacional de Águas, 2021). No Centro-Oeste as divergências destacam-se na parte leste do estado do Mato Grosso do Sul e no

Oeste do Mato Grosso; no Sudeste são observadas na parte Oeste de São Paulo; e no Nordeste são notórias na parte nordeste do Maranhão.

4.8. Síntese dos principais resultados

Apresenta-se, em seguida, uma visão sintética dos principais resultados obtidos neste estudo. Entretanto, além dos que estão listados nesta seção, vários outros podem ser vistos em detalhes do item 4.1 ao 4.6 e nos Apêndices 3 e 4.

A variável AD, analisada a partir de um total de 1.514 perfis de solos representativos do território nacional, apresentou distribuição não-normal, variância heterocedástica entre classes de solo, média geral de $1,16 \text{ mm cm}^{-1}$, mediana de $1,14 \text{ mm cm}^{-1}$ e um CV ao redor de 41%, praticamente similar ao valor em torno de 43% obtido por Batjes (1996) em uma análise com dados globais;

As ordens de solos segundo o SiBCS (Santos et al., 2018) apresentaram valores de AD na faixa de $0,66 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,69 \text{ mm cm}^{-1}$, com diferenças estatísticas significativas entre a maioria delas. No entanto, os resultados foram similares entre as ordens mais representativas no País, isto é, entre Argissolos (P) e Latossolos (L), com medianas respectivas de $1,01 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,11 \text{ mm cm}^{-1}$. Os valores de AD mais elevados foram observados nos Organossolos (O) e Gleissolos (G), com medianas de $1,69 \text{ mm cm}^{-1}$ e $1,56 \text{ mm cm}^{-1}$, respectivamente. O valor mais baixo de AD foi verificado nos Espodossolos (E), com mediana de $0,66 \text{ mm cm}^{-1}$;

Embora no nível mais generalizado de informações taxonômicas do SiBCS, foi possível notar que as ordens de solos embutem informações que afetam nos valores da AD e, por isto, podem contribuir na melhoria de modelos preditivos desta variável;

No contexto das subordens de solos segundo o SiBCS, a AD varia na faixa de $0,57 \text{ mm cm}^{-1}$ a $1,99 \text{ mm cm}^{-1}$ com o menor valor observado nos Neossolos Quartzarênicos (RQ) e o maior, nos Gleissolos Sálícos (GZ), sem o desconto do efeito da salinidade na AD. Foi constatado que na maioria das subordens de solos, dentro da mesma ordem, os valores de AD são estatisticamente semelhantes;

Algumas particularidades foram verificadas em subordens dos Latossolos (L) e Argissolos (P) as quais contribuem significativamente no aumento de AD. Nos Latossolos, a principal particularidade notada corresponde à presença do caráter ácrico observado em Latossolos Vermelhos (LVw). Nos Argissolos, diz respeito ao caráter aluminico constatado em Argissolos Vermelho-Amarelos com argila de atividade alta (PVAva). Entretanto, por falta de informações não se pode afirmar que os mencionados caracteres afetam de forma similar noutras subordens nas classes dos Latossolos e Argissolos;

Os valores de AD, nos grupamentos texturais pertencentes às classes arenosa, arenosa/média e média, são significativamente diferentes entre si, com pouca ou insignificante influência da taxonomia de solos. Por outro lado, nos grupamentos texturais que incluem as texturas argilosa e muito argilosa é onde se destacam as possíveis influências taxonômicas mais marcantes na AD dos solos;

Foi organizado um catálogo com valores de AD que reúne informações dos solos representativos da cobertura pedológica do território nacional. As informações foram organizadas levando em conta 10 grupamentos texturais no contexto das classes de solo segundo o SiBCS. O catálogo apresenta a estatística descritiva da AD com valores da média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, intervalo interquartilico, valor mínimo, valor máximo e o número de perfis utilizado por classe de solo em cada grupamento textural. Também apresenta a estatística descritiva dos grupamentos texturais independentemente das informações taxonômicas dos solos e um complemento com a estatística descritiva para os subgrupamentos da textura arenosa;

No nível de ordem, segundo o SiBCS, todas as 13 classes de solo foram devidamente contempladas com informações de AD. Porém, no nível de subordem taxonômica de solo, das 44 reconhecidas no SiBCS, 12 delas (PBAC; PAC; CI; ME; ES; ESK; TX; NX; OO; SN; FF; e VG) não tiveram informações para cálculo de AD. No entanto, tais classes se assemelham a outras, do ponto de vista físico-hídrico, no contexto da mesma ordem de solos;

Os resultados do catálogo sugerem que modelos preditivos de AD que utilizam informações apenas da textura são mais eficientes no contexto dos solos com grupamentos texturais na faixa de arenosa até a média. Entretanto, infere-se que se a tais modelos forem incorporadas informações taxonômi-

cas de solos, eles poderão se tornar mais eficientes para todas as faixas de textura;

Apesar da vantagem, em termos de simplicidade, para estimativas da AD com base apenas na textura do solo, algumas restrições merecem ser apontadas. As mais importantes se referem às perdas de informações que impactam na retenção de água no solo, relacionadas com: mineralogia da fração argila dos solos; presença de materiais “amorfos”; atividade da fração argila; conteúdo de matéria orgânica; e presença de sais solúveis e de sódio trocável, entre outras;

No desenvolvimento de modelos (PTFs) para predição de AD em função da compartimentação das ordens de solos em subordens e estas em grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS, as classes de solos se tornam sucessivamente mais homogêneas de modo que os regressores (subordens e grandes grupos selecionados) aumentam a explicação da variância de AD;

O melhor modelo preditivo de AD deste estudo foi conseguido por meio de uma RLM que utilizou classes de solos (subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS) e grupamentos texturais como variáveis preditoras. O modelo apresentou uma boa acurácia (RMSE = 0,2536 mm cm⁻¹) e confiabilidade (RMSE = 0,1987 mm cm⁻¹) com um R² ajustado de 71%. O segundo melhor modelo foi obtido por meio de uma RLS tendo como preditor os grupamentos texturais dos solos. Este modelo explicou 66% da variância de AD dos solos representativos do Brasil. A análise de resíduos indicou que, para ambos os modelos, foram atendidos os pressupostos básicos para o emprego de modelos lineares. O terceiro modelo foi obtido por meio de uma RLS que utilizou classes taxonômicas de solos (subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS) como variável regressora. Este modelo explicou 41% da variância de AD. O quarto modelo foi uma RLS que utilizou a ordem taxonômica de solo segundo o SiBCS como variável regressora. Este modelo explicou apenas 26% da variância de AD;

As principais vantagens para o uso dos melhores modelos (PTFs) preditivos de AD desenvolvidos neste estudo são as seguintes: (1) os modelos permitem fazer estimativas para toda cobertura pedológica do território nacional; e (2) não dependem de análises laboratoriais, mas, apenas, de

informações disponíveis nas legendas de mapas pedológicos para sua aplicação;

Desenvolveu-se, aqui, um protocolo para elaborar mapas da AD em qualquer escala cartográfica, utilizando informações disponíveis nas legendas dos mapas pedológicos, bem como informações de AD que constam no catálogo deste estudo. Conforme o protocolo, elaborou-se o mapa de AD da cobertura pedológica do território nacional utilizando o mapa de solos do Brasil (IBGE, 2020) disponibilizado numa base cartográfica 1:250.000. Cabe lembrar que quando houver frações grossas (cascalhos, pedregosidade, rochosa), sais solúveis e/ou sódio trocável, discriminados nas legendas dos mapas pedológicos, o valor de AD deve ser corrigido conforme os tipos de restrições e seus níveis, seguindo as instruções apresentados no protocolo.

5. Conclusões

Com base nos resultados obtidos sobre a AD de solos representativos do Brasil foi possível chegar nas seguintes conclusões:

A partir de um banco de dados com valores de AD de 1.514 perfis de solos foi possível organizar um catálogo com resultados da estatística descritiva de AD por classe de solo e respectivos grupamentos texturais, constando de: (a) número de perfis utilizados; (b) média; (c) desvio padrão; (d) coeficiente de variação; (e) mediana; (f) intervalo interquartil; (g) valor mínimo; e (h) valor máximo. O catálogo contempla dados de AD para as 13 ordens, 32 subordens e seis grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS. A organização do catálogo mostrou que entre a maioria das ordens de solos existem diferenças estatísticas significativas nos valores de AD. Porém, entre as subordens da mesma ordem de solos, a grande maioria dos valores de AD não apresenta diferenças estatísticas significativas.

Os valores de AD apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os grupamentos texturais nas classes arenosa, arenosa/média e média, independentemente das classes taxonômicas de solos a que pertencem, segundo o SiBCS. Também foram verificadas diferenças significativas de AD entre os subgrupamentos texturais nas classes “muito arenosa” e “média-arenosa” na subordem taxonômica dos Neossolos Quartzarênicos conforme o SiBCS. Por outro lado, nos grupamentos texturais que incluem a textura

argilosa e/ou a muito argilosa, foi constatado que as diferenças significativas de AD se destacam entre as subordens taxonômicas que pertencem a diferentes ordens de solos segundo o SiBCS. Isto foi indicativo que a influência da taxonomia de solos na AD se verifica, sobretudo, nos solos argilosos.

Modelos preditivos de AD com base em 1.514 perfis de solos mostraram que a melhor PTF desenvolvida é uma RLM utilizando o agrupamento textural e classes taxonômicas de solo (subordem e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS) como variáveis regressoras. A mencionada PTF explicou 71% da variância de AD de solos do Brasil com boa acurácia (RMSE = 0,2536 mm cm⁻¹) e confiabilidade (RMSE = 0,1987 mm cm⁻¹). A segunda melhor PTF foi obtida por meio de uma RLS tendo o agrupamento textural como variável regressora a qual explicou 66% da variável resposta. Ambas as PTFs atenderam aos pressupostos básicos para o emprego de modelos lineares.

As informações analisadas neste estudo viabilizaram desenvolver um protocolo de procedimentos para elaborar mapas de AD em qualquer escala. O protocolo requer informações disponíveis no catálogo de AD deste estudo e aquelas que constam nas legendas de mapas pedológicos. Foi demonstrado a efetividade do mencionado protocolo por meio da elaboração do mapa de AD de solos do Brasil, com unidades de mapeamento apresentando de um até cinco componentes, disponibilizado numa base cartográfica escala 1:250.000.

6. Agradecimentos

Aos colegas Davi Ferreira da Silva e Daniel Chaves Webber, pela elaboração dos mapas no laboratório de geoprocessamento da Embrapa Solos UEP Recife.

Aos colaboradores: Balbino Antônio Evangelista (Embrapa Pesca e Aquicultura), Fernando Antônio Macena da Silva (Embrapa Cerrados) e Estevão Lucas Ramos da Silva (Mestrando da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE) pelas discussões técnicas no contexto do Zarc e apoio concedido para o desenvolvimento do presente estudo.

À Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SPA/MAPA) e ao Departamento de Regulação, Supervisão

e Controle das Operações do Crédito Rural e do Proagro do Banco Central do Brasil (DEROP/BCB) pelo apoio financeiro concedido ao presente estudo.

7. Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Capacidade de água disponível (CAD/AWC) para solos brasileiros**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/28fe4baa-66f3-4f6b-b0d2-890abf5910c4/attachments/CAD_AWC_ResumoSNIRH_ANAeUFPR.pdf. Acesso em: 26 ago. 2021.
- AHUJA, L. R.; NANEY, J. W.; WILLIAMS, R. D. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 5, p.1100-1105, 1985. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900050005x>.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. de. Atributos físicos de Latossolos ácidos do norte paulista. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 2, p. 321-326, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161994000200019>.
- AL MAJOU, H.; BRUAND, A.; DUVAL, O. The use of in situ volumetric water content at field capacity to improve the prediction of soil water retention properties. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 88, n. 4, p. 533-541, 2008. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJSS07065>.
- AMARAL, E. F.; ARAÚJO NETO, S. E. **Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Projeto de Assentamento Favo de Mel, Sena Madureira-AC**. Rio Branco: Embrapa Acre/ASB, 1998. 75 p. (Embrapa Acre. Documentos, 36). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116585/1/1559.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- AMEMIYA, M. The Influence of aggregate size on soil moisture content-capillary conductivity relations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 29, n. 6, p. 744-748, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900060039x>.
- ANDRADE, C. de L. T. de; FREITAS, J. de A. D. de; LUZ, L. R. Q. P. da. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiros litorâneos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991, Natal. **Anais [...]**. Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1992. v. 1, t. 2, p. 1069-1096. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185785/1/Caracteristicas-fisico.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- ANDRADE, K. R. **Atributos físico-hídricos de solos coesos da zona da mata de Pernambuco sob ação de condicionadores químicos**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/118129/1/Dissertacao-Kairon.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 111-116, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200001>.
- ARAÚJO, E. A. de. **Caracterização de solos e modificações provocadas pelo uso agrícola no assentamento Favo de Mel, na região do Purus - Acre**. 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7925/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; BARBOSA NETO, M. V.; SILVA, C. B. da; ARAÚJO, M. do S. B. de; MENEZES, J. B. de. Levantamento semidetalhado dos solos da bacia hidrográfica do Rio Natuba, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 384-397, 2013a. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92523/1/675-3506-1-PB.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B. da; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R. de; PARAHYBA, R. da B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, F. B. R. e; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P. dos; SOUSA NETO, N. C. de; SILVA, A. B. da; LUZ, L. R. Q. P. da; LIMA, P. C. de; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 378 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa, 11). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69954/1/Boletim-de-Pesquisa-Final-11.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; GUNKEL, G.; SOBRAL, M. C. M.; KAUPENJOHANN, M.; LOPES, H. L. Soil attributes functionality and water eutrophication in the surrounding area of Itaparica Reservoir, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 1005-1013, 2013b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900014>.

ARAÚJO FILHO, J. C. de. **Infiltração e disponibilidade hídrica em Cambissolos do Baixo de Irecê-Bahia**. 1992. 224 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; SANTOS, J. C. P. dos; LUZ, L. R. Q. P. da (ed.). **Avaliação detalhada do potencial de terras para irrigação nas áreas de reassentamento de colonos do Projeto Jusante, Glória, BA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 261 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224232/1/LV-ISBN-978-85-85864-26-2-2007.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

ASSOULINE, S.; OR, D. The concept of field capacity revisited: Defining intrinsic static and dynamic criteria for soil internal drainage dynamics. **Water Resources Research**, v. 50, n. 6, p. 4787-4802, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014WR015475>.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. (FAO Irrigation and drainage paper, 29).

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. (FAO Irrigation and drainage paper, 29 Rev.).

BAKER, B. J.; FAUSEY, N. R.; ISLAM, K. R. Comparison of soil physical properties under two different water table management regimes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 1973-1981, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1973>.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London Series A**, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>.

BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Roraima**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195311/1/RCC-Z-12-032.epub>. Acesso em: 10 maio 2022.

BATJES, N. H. Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. **Geoderma**, v. 71, n.1/2, p. 31-51, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00089-5).

BELLOTO JUNIOR, R. J.; SOKOLOSKI, T. D. Residual analysis in regression. **American Journal of Pharmaceutical Education**, v. 49, p. 295-303, 1985.

- BENITES, V. de M.; MACHADO, P. O. de A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E.; LIMA, C. X. **Funções de pedotransferência para estimativa da densidade dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 30 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 104). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14935/1/bpd104-2006-pedotransferencia.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300029>.
- BOEDT, L.; VERHEYE, W. Evaluation of profile available water capacity: 1. the conceptual approach. **Pédologie**, v. 35, n. 1, p. 55-65, 1985.
- BOUMA, J.; LAAT, P. J. M.; AWATER, R. H. C. M.; VAN HEESSEN, H. C.; VAN HOLST, A. F.; VAN DE NES, Th. J. Use of soil survey data in a model for simulating regional soil moisture regimes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 4, p. 808-814, 1980. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400040030x>.
- BOUYOUCOS, G. J. Effect of organic matter on the water-holding capacity and the wilting point of mineral soils. **Soil Science**, v. 47, n. 5, p. 377-384, 1939. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-193905000-00005>.
- BREAZEALE, E. L.; MCGEORGE, W. T. Effect of salinity on the wilting percentage of soil. **Soil Science**, v. 80, n. 6, p. 443-448, 1955.
- BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient and its indirect determination. **Botanical Gazette**, v. 53, n. 1, p. 20-37, 1912a. DOI: <https://doi.org/10.1086/330708>.
- BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, v. 1, n. 8, p. 228-232, 1911.
- BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. Washington, DC: Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries, 1912b. 83 p. (Bulletin, 230). DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.64958>.
- BRUAND, A.; DUVAL, O.; COUSIN, I. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO: une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture, sa densité apparente. **Etude et Gestion des Sols**, v. 11, n. 3, p. 323-332, 2004. Disponível em: <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00089032/document>. Acesso em: 10 maio 2022.
- CAMPOS, J. R. da R. **Caracterização, mapeamento, volume de água e estoque de carbono da turfeira da área de proteção ambiental Pau-de-Fruta, Diamantina – MG**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina. Disponível em: http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/551/1/jose_ricardo_rocha_campos.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.
- CAMPOS, J. R. da R.; SILVA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; FERREIRA, M. M.; SILVA, D. V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1217-1227, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400015>.
- CAMPOS, P. M. **Influência físico-hídrica nos atributos diagnósticos em Latossolos do Distrito Federal**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Disponível em: <blob:resource://pdf.js/bb06f450-cf1c-495f-95dc-f5429165f1a6>. Acesso em: 10 maio 2022.

CARDUCCI, C. E.; BOSCO, L. C.; KOHN, L. S.; BARBOSA, J. dos S.; BENEVENUTE, P. A. N.; REGAZOLLI, G. H. M. Dinâmica da água em Cambissolo Húmico sob cultivo do linho no planalto catarinense. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 1, p. 1-11, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i1.49885>.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; CURI, N.; SEVERIANO, E. da C.; ZEVIANI, W. M. Relations of clay fraction mineralogy, structure and water retention in Oxidic Latosols (Oxisols) from the Brazilian Cerrado biome. In: VALÁŠKOVÁ, M.; MARTYNKOVÁ, G. S. (ed.). **Clay minerals in nature: their characterization, modification and application**. London: IntechOpen, 2012. p. 149-170. DOI: <https://doi.org/10.5772/47785>.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p.17-25, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100003>.

CARMO, D. N. do. **Caracterização, gênese e uso de Latossolos sob cerrado no município de Rio Paranaíba - MG**. 1977. 84 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11230>. Acesso em: 10 maio 2022.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. de S.; COSTA, L. M. da. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 257-265, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000200015>.

CARVALHO, V. S. de. **Caracterização e classificação de Espodosolos nos estados de Pernambuco e Paraíba**. 2011. 124 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/5390/2/Vania%20Soares%20de%20Carvalho.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

CASINI, F.; VAUNAT, J.; ROMERO, E.; DESIDERI, A. Consequences on water retention properties of double-porosity features in a compacted silt. **Acta Geotechnica**, v. 7, p. 139-150, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-012-0159-6>.

CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 901-926. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c36>.

CASSEL, D. K.; RATLIFF, L. F.; RITCHIE, J. T. Models for estimating in-situ potential extractable water using soil physical and chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 4, p. 764-769, 1983. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700040031x>.

CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 367 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141705/1/Livro-Solos-Frageis.pdf>.

CAVALCANTI, A. C. **Estudo de Latossolos argilosos do Planalto Central do Brasil: caracterização, distinção de acordo com duas superfícies de aplainamento, gênese e classificação**. 1977. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/331153/1/Dissertacao-Antonio-Cabral-Cavalcanti-1977.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

- CINTRA, F. L. D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. 1997. 90 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <http://doi.org/10.11606/T.11.2019.tde-20191220-123512>.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do tabuleiro costeiro. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3, p. 367-378, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000300004>.
- CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 45-50, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000100007>.
- COHEN, A. Dummy variables in stepwise regression. **The American Statistician**, v. 45, n. 3, p. 226-228, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2307/2684296>.
- CONCEIÇÃO, M. da. **Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí-Santa Cruz, RJ**. 1989. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/327289/1/Dissertacao-Mauro-da-Conceicao-1989.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., 1979, Manaus. **Guia de excursão** [...]. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 72 p.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., 1989, Recife. **Guia de excursão**. Recife: SBCS: EMBRAPA-SNLCS-Frente Regional Nordeste, 1989. 72 p.
- CORDEIRO, J. C. **Características físico-hídricas de Latossolos sob vegetação de cerrados do Brasil Central**. 1977. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- CORRÊA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 12, p. 1381-1387, 1985. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1985.v20.16391>.
- CORRÊA, J. C. Características físico-hídricas dos solos Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzol Hidromórfico do estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 347-360, 1984. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1984.v19.15470>.
- CORRÊA, M. M. **Atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos de solos e ambientes agrícolas nas várzeas de Sousa - PB**. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10720/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- CORREIA, G. G.; MOURA, R. F. de; RODRIGUES, J. J. V.; BARROS, M. de F. C.; CORREIA, K. G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de Tabuleiro Costeiro paraibanos. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/50/376>. Acesso em: 10 maio 2022.
- COSTA, A. C. S. da; NANNI, M. R.; JESKE, E. Determinação da umidade na capacidade de campo e ponto de murchamento permanente por diferentes metodologias. **Revista UNIMAR**, v. 19, n. 3, p. 827-844, 1997. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevUNIMAR/article/view/4563/3122>. Acesso em: 10 maio 2022.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da; PÉRTILE, P.; SILVA, F. R. da. Water retention and availability in soils of the state of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1535-1548, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600010>.

COSTA, A. da. **Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência**. 2012. 423 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1472/Tese_Andre_15693556593891_1472.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.

COSTA, J. V. B. da. The indirect determination of the "wilting coefficient" by the freezing-point method, and the influence of the salts upon the pF at that critical moisture content. **The Journal of Agricultural Science**, v. 28, n. 4, p. 654-662, 1938. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600051054>.

COSTA, M. P. da; TEIXEIRA, L. B. **Caracterização físico-hídrica de Latossolo Amarelo da região de Capitão Poço, Pará**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1992. 23 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 133). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42255/1/Boletim-Pesquisa-133-CPATU.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

COUSIN, I.; NICOUILLAUD, B.; COUTADEUR, C. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. **Catena**, v. 53, n. 2, p. 97-114, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00037-7).

CRUZ, D. L. de S. **Atributos físicos de Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais e cultivados com pastagem em Roraima**. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR. Disponível em: <http://repositorio.ufr.br:8080/jspui/handle/prefix/556>. Acesso em: 10 maio 2022.

CUNHA, G. O. de M.; ALMEIDA, J. A. de; TESTONI, S. A.; BARBOZA, B. B. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al³⁺ extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1362-1377, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20150017>.

DALGAARD, P. **Introductory statistics with R**. 2nd ed. New York: Springer, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-79054-1>.

DANALATOS, N. G.; KOSMAS, C. S.; DRIESSEN, P. M.; YASSOGLU, N. Estimation of the draining soil moisture characteristic from standard data as recorded in routine soil surveys. **Geoderma**, v. 64, n. 1/2, p. 155-165, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)90095-7).

DAS, A.; GUPTA, S. K. Available moisture in relation to water-stable aggregates of two forest soils. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 159, n. 1, p. 66-70, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1987.tb00296.x>.

DAVALO, M. J. **Curva de retenção de água no solo estimado pelo método da câmara de Richards e psicrômetro**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88324/000725696.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 maio 2022.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; ESNMINGER, L. E.; WHITE, J. L.; CLARK, F. E. (ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545-567. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c43>.

- DE JONG, R.; SHIELDS, J. A. Available water-holding capacity maps of Alberta, Saskatchewan and Manitoba. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 68, n. 1, p. 157-163, 1988. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJSS88-015>.
- DE JONG, R.; SHIELDS, J. A.; SLY, W. K. Estimated soil water reserves applicable to a wheat-fallow rotation for generalized soil areas mapped in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 64, n. 4, p. 667-680, 1984. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss84-067>.
- DE JONG VAN LIER, Q. Field capacity, a valid upper limit of crop available water? **Agricultural Water Management**, v. 193, p. 214-220, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.017>.
- DE JONG VAN LIER, Q.; WENDROTH, O. Reexamination of the field capacity concept in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 2, p. 264-274, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.01.0035>.
- DELARME LINDA, E. A. **Solos desenvolvidos nas bacias sedimentares do Acre e do Solimões, Amazônia Sul-Occidental**. 2015. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/5400/2/Elaine%20Almeida%20Delarmelinda.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2022.
- DHARUMARAJAN, S.; SINGH, S. K.; BANNERJEE, T.; SARKAR, D. Water-retention characteristics and available water capacity in three cropping systems of Lower Indo-Gangetic alluvial plain. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 18, p. 2734-2745, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.803561>.
- DIAS, C. B. **Propriedades físicas e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Amarelo coeso sob diferentes usos no ecossistema dos Tabuleiro Costeiro**. 2012. 42 f. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/5502/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 45-51, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100006>.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 130-141.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. de; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>.
- EATON, F. M. Effect of exchange sodium on the moisture equivalent and the wilting coefficient of soils. **Journal of Agricultural Research**, v. 61, n. 6, p. 401-425, 1940. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P0004.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. **Pesquisa em irrigação no trópico Semi-Árido**: solo, água, planta. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1981. 85 p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de pesquisa, 4). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/7092/1/BPD4.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

EMERSON, W. W. Water-retention, organic-C and soil texture. **Australian Journal of Soil Research**, v. 33, n. 2, p. 241-251, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR9950241>.

FAO. **Soil map of the world: 1:5.000.000 legend**. Paris: Unesco, 1974. v.1.

FERNANDES, L. A. C.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e classificação de solos de uma litotoposeqüência do Projeto Xingó-SE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 192-201, 2010. DOI: <http://doi.org/10.5039/agraria.v5i2a675>.

FERNANDES, M. R. **Estudos pedológicos em toposseqüências na microbacia do Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes (RJ)**. 1998. 223 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 507-514, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300003>.

FERREIRA, R. O. **Solos e ambientes de áreas de lagoas intermitentes em tabuleiros costeiros do recôncavo da Bahia**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

FERREIRA, R. R. M.; BARDALES, N. G.; SILVA, L. M. da; MIQUELONI, D. P.; WADT, L. H. de O. **Levantamento de solos semidetalhado sob crescimento de castanhal nativo na região leste do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2017. 30 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 57). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172694/1/26506.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

FIELD, A. **Descobrimo a estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 688 p.

FISHER, M. J.; FAUSEY, N. R.; SUBLER, S. E.; BROWN, L. C.; BIERMAN, P. M. Water table management, nitrogen dynamics, and yields of corn and soybean. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 6, p. 1786-1795, 1999. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361786x>.

FONSÊCA, M. H. P.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D. de; BARRETO, A. N. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 368-373, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400004>.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. do; ANJOS, L. H. C. dos. Disponibilidade de água e propriedades edáficas em solos de Tabuleiro no estado do Rio de Janeiro. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v. 24, n. 2, p. 1-7, 2004. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/lqcs/producao/lucia/2004/4.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

FONTES, L. E. F.; OLIVEIRA, L. B. de. **Curvas de retenção de umidade de solos do Norte de Minas Gerais, área de atuação da SUDENE**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1982a. 19 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, 4). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36149/1/Curvas-de-Retencao.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

FONTES, L. E. F.; OLIVEIRA, L. B. de. **Disponibilidade de água de solos do Norte de Minas Gerais, área de atuação da SUDENE**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1982b. 22 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, 8). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36225/1/Disponibilidade-de-Agua-de-solos.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

FREIRE, L. R. (coord.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, 2013. 430 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177352/1/Manual-de-calagem-e-adubacao-RJ-2013.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

GAISER, T.; GRAEF, F.; CORDEIRO, J. C. Water retention characteristics of soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 38, n. 3, p. 523-536, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR99001>.

GALINDO, I. C. de L. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no estado de Pernambuco**. 2007. 255 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/5166/2/lzabel%20Cristina%20de%20Luna%20Galindo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

GAMA, J. R. N. F. **Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta do Estado do Acre**. 1986. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.

GAMA, J. R. N. F.; KUSABA, T.; OTA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 1, p. 103-106, 1992. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142854/1/Influencia-de-material-vulcanico-em-alguns-solos-do-estado-do-Acre-1992.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; HONTORIA, C.; GABRIEL, J. L.; ALONSO-AYUSO, M.; QUEMADA, M. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma**, v. 322, p. 81-88, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.024>.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**: part 1: physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. cap. 15, p. 383-411. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>.

GOMES, I. A. **Caracterização e gênese do Podzólico Vermelho-Amarelo álico de argila de atividade alta da região úmida do Nordeste brasileiro**. 1985. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.1985.tde-20210104-172016>.

GONTIJO, I.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Atributos físico-hídricos de um Latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2227-2234, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600002>.

GRANT, C. D.; GROENEVELT, P. H. Plant available water in saline soils: revisited. **Soil Research**, v. 57, n. 3, p. 239-246, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR18354>.

GROENEVELT, P. H.; GRANT, C. D.; MURRAY, R. S. On water availability in saline soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, n. 7, p. 833-840, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR03054>.

GROHMANN, F.; MEDINA, H. P. Características de umidade dos principais solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 21, n. 18, p. 285-295, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051962000100018>.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**, v. 15, n. 6, p. 1633-1635, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01633>.

HAISE, H. R.; HAAS, H. J.; JENSEN, L. R. Soil moisture studies of some Great Plains soils: II. field capacity as related to 1/3-atmosphere percentage, and "minimum point" as related to 15- and 26-atmosphere percentages. **Soil Science Society of America Journal**, v. 19, n. 1, p. 20-25, 1955. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1955.03615995001900010005x>.

- HANSON, C. T.; BLEVINS, R. L. Soil water in coarse fragments. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 4, p. 819-820, 1979. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300040044x>.
- HARRELL JUNIOR, F. E. **Regression modelling strategies**: with applications to linear models, logistic and ordinal regression, and survival analysis. 2nd ed. Cham: Springer, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19425-7>.
- HENDRICKSON, A. H.; VEIHMEYER, F. J. Permanent wilting percentages of soils obtained from field and laboratory trials. **Plant Physiology**, v. 20, n. 4, p. 517-539, 1945. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.20.4.517>.
- HOLLIS, J. M.; JONES, R. J. A.; PALMER, R. C. The effects of organic matter and particle size on the water retention properties of some soils in the west Midlands of England. **Geoderma**, v. 17, n. 3, p. 225-238, 1977. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(77\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0016-7061(77)90053-2).
- HONG, S. Y.; MINASNY, B.; HAN, K. H.; KIM, Y.; LEE, K. Predicting and mapping soil available water capacity in Korea. **PeerJ**, v.1, e71, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.71>.
- HUANG, P. M. Ionic factors affecting the formation of short-range ordered aluminosilicates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 4, p. 1172-1180, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500040046x>.
- HUDSON, B. D. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 49, n. 2, p. 189-194, 1994.
- IBGE. **BdiA**: Banco de Dados de Informações Ambientais. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- JACCOUD, A. **Curvas características de umidade dos solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**. 1971. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- JAMISON, V. C. Pertinent factors governing the availability of soil moisture to plants. **Soil Science**, v. 81, n. 6, p. 459-472, 1956.
- JAYAWARDANE, N. S.; CHAN, K. Y. The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, n. 1, p. 13-44, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR9940013>.
- JOHAS, R. A. L.; CLAESSEN, M. E. C.; DURIEZ, M. A. de M. **Amorfos**: identificação por diferentes metodologias em alguns solos do Acre. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 17 p. (EMBRAPA-CNPS. Boletim de pesquisa, 3). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159410/1/bp-03-1997.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- KAHLLOWN, M. A.; ASHRAF, M.; ZIA-UL-HAQ. Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. **Agricultural Water Management**, v. 76, n. 1, p. 24-35, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.01.005>.
- KERN, J. S. Geographic patterns of soil water-holding capacity in the contiguous United States. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 4, p. 1126-1133, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900040026x>.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 364 p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000600006>.

- KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 646-650, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300016>.
- KOTLAR, A. M.; DE JONG VAN LIER, Q.; BRITO, E. de S. Pedotransfer functions for water contents at specific pressure heads of silty soils from Amazon rainforest. **Geoderma**, v.361, 114098, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114098>.
- KRAVCHENKO, A.; ZHANG, R. Estimating the soil water retention from particle-size distributions: a fractal approach. **Soil Science**, v. 163, n. 3, p. 171-179, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-199803000-00001>.
- LAGACHERIE, P.; VOLTZ, M. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area and digital elevation data: a conditional probability approach. **Geoderma**, v. 97, n. 3/4, p. 187-208, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00038-0).
- LAL, R. Physical properties and moisture retention characteristics of some Nigerian soils. **Geoderma**, v. 21, n. 3, p. 209-223, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(78\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0016-7061(78)90028-9).
- LEAL, I. F. **Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do assentamento agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim - RJ**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/IsaiasFagundesLeal.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.
- LEENHARDT, D.; VOLTZ, M.; BORNAND, M.; WEBSTER, R. Evaluating soil maps for prediction of soil water properties. **European Journal of Soil Science**, v. 45, n. 3, p. 293-301, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1994.tb00512.x>.
- LIMA, J. J.; CORSINI, P. C.; POLITANO, W. Condições hídricas de solos dispostos em uma toposequência no Município de Rio Branco - Acre. **Revista Científica**, v. 6, n. 1, p. 53-60, 1978.
- LOBATO, M. G. R. **Estimativa da capacidade de campo em solos por critérios estáticos e dinâmicos**. 2018. 60 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/39513/3/2018_tese_mgrlobato.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.
- LUMBRERAS, J. F. **Regime hídrico do solo sob cobertura de floresta e de eucalipto na pré-amazônia maranhense**. 1996. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/330376/1/Dissertacao-Jose-Francisco-Lumbreras-1996.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- LUMBRERAS, J. F. **Relações solo-paisagem no noroeste do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento de uso sustentável em áreas de relevo acidentado do Bioma Mata Atlântica**. 2008. 305 f. il. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51630/1/TeseDoutoradoLumbreras-2008.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARME LINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. L. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203098/1/Guia-de-campo-da-XII-RCC-Rondonia.epub>. Acesso em: 11 maio 2022.

- LUND, Z. F. Available water-holding capacity of alluvial soils in Louisiana. **Soil Science Society of America Journal**, v. 23, n. 1, p. 1-3, 1959. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1959.03615995002300010009x>.
- LYRA, M. do C. P. **Caracterização de Vertissolos em projetos de irrigação na região do Baixo Médio São Francisco**. 1993. 227 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MACEDO, J. R. de. **Determinação de retenção hídrica por correlação múltipla e de variabilidade espacial em solos podzólicos de Seropédica/RJ**. 1991. 174 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/327242/1/Dissertacao-Jose-Ronaldo-de-Macedo-1991.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- MACLEAN, A. H.; YAGER, T. U. Available water capacities of Zambian soils in relation to pressure plate measurements and particle size analysis. **Soil Science**, v. 113, n. 1, p. 23-29, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-197201000-00005>.
- MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B.; LASLETT, G. M. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. **Geoderma**, v. 154, n. 1/2, p. 138-152, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.10.007>.
- MARCOS, Z. Z. **Morphologic and physical properties of fine textured Oxisols: state of São Paulo**. 1971. 172 f. Tese (Doutorado) – Ohio State University, Ohio. Disponível em: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu1486720167876639&disposition=inline. Acesso em: 11 maio 2022.
- MARQUES, F. A. **Caracterização e classificação de solos da Ilha de Fernando de Noronha (PE)**. 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/227512/1/Dissertacao-Flavio-Adriano-Marques-2004.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- MARQUES, J. D. de O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 145-154, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000200002>.
- MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F. C.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100001>.
- MEDEIROS, R. D. de; Ó, W. C. R. do; GIANLUPPI, D. **Características químicas e físico-hídricas de solos de várzeas em Roraima**. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2004. (Embrapa Roraima. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 3). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202112/1/PDF-0032004-solosroraima-roberto.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- MEDINA, B. F.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. Relações entre capacidade decampo determinada in situ e em laboratório em Latossolo Amarelo muito argiloso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, n. 2, p. 91-95, 1987.
- MEDINA, H. P.; GROHMANN, F. Disponibilidade de água em alguns solos sob cerrado. **Bragantia**, v. 25, n. 6, p. 65-75, 1966. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051966000100006>.

MEDRADO, E.; LIMA, J. E. F. W. Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of the Brazilian savanna. **Geoderma Regional**, v. 1, p. 59-66, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.08.003>.

MELO, A. W. F. de; AMARAL, E. F. do. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos da Reserva Extrativista do Alto Juruá, Marechal Thaumaturgo, Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000. 77 p. (Embrapa Acre. Documentos, 53). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116590/1/6765.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

MELO, D. V. M. de. **Qualidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco em função do uso de poliacrilamida**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/item2/4933/2/Diego%20Vandeval%20Maranhao%20de%20Melo.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

MENDES, I. de C.; BORIN, A. L. D. C.; OLIVEIRA, M. I. L. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; CHAER, G. M. Diagnóstico da saúde do solo nas áreas de produção de algodão no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 12., 2019, Goiânia, GO. **Anais** [...]. Goiânia: Abrapa, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212001/1/Congresso-brasileiro-de-Algodao.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

MILE, M.; MITKOVA, T. Soil moisture retention changes in terms of mineralogical composition of clays phase. In: VALÁŠKOVÁ, M.; MARTYNKOVÁ, G.S. (ed.). **Clay minerals in nature: their characterization, modification and application**. London: IntechOpen, 2012. p. 101-118. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/48098>.

MILLER, D. E.; BUNGER, Wm. C. Moisture retention by soil with coarse layers in the profile. **Soil Science Society of America Journal**, v. 27, n. 5, p. 586-589, 1963. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700050034x>.

MILLER, D. E. Water retention and flow in layered soil profiles. In: BRUCE, R. R. (ed.). **Field soil water regime**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p. 107-117. (SSSA special publications, v. 5). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspeccpub5.c6>.

MILLY, P. C. D.; SHMAKIN, A. B. Global modeling of land water and energy balances. Part I: the land dynamics (LaD) model. **Journal of Hydrometeorology**, v. 3, n. 3, p. 283-299, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2002\)003%3C0283:GMOLWA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2002)003%3C0283:GMOLWA%3E2.0.CO;2).

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 39-47, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>.

MONIZ, A. C. (Coord.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1972. 459 p.

MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Inmet, 2009. 530 p. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Variabilidade da água disponível de uma Terra Roxa estruturada latossólica. **Scientia Agricola**, v. 50, n. 3, p. 404-412, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161993000300012>.

MOREIRA, J. A. A.; SILVA, C. J. C. G. da. Características de retenção de água de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Goiana, Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 411-418, 1987. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1987.v22.14353>.

NACHABE, M. H. Refining the definition of field capacity in the literature. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 124, n. 4, p. 230-232, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1998\)124:4\(230\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1998)124:4(230)).

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200011>.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; CORREA, J. R. V. **Caracterização dos solos do município de Belterra, Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 35 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 88). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63490/1/Oriental-Doc88.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; KELLER, M.; CRILL, P. M.; BELDINI, T. P.; CAMARGO, P. B. de. Comportamento anual da água no solo sob floresta natural e plantio de grãos em Latossolo Amarelo na região de Belterra-PA. **Espaço Científico**, v. 11, n. 1/2, p. 80-94, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84632/1/Cosmep80.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. da; VALENTE, M. A. **Caracterização físico-hídrica dos principais solos da região de Marabá-Carajás, Estado do Pará**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1998a. 43 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 205). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48881/1/Boletim-Pesquisa-205-CPATU.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. da. **Caracterização físico-hídrica de quatro perfis de solos da região da Transamazônica, trecho Altamira-Itaituba**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1998b. 29 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 206). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32818/1/CPATU-BP206.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. da. **Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solos do nordeste paraense**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1997. 27 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 177). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48863/1/Boletim-Pesquisa-177-CPATU.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

OLIVEIRA, L. B. de; DANTAS, H. da S.; CAMPELO, A. B.; GALVÃO, S. J.; GOMES, I. F. Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de "Tabuleiro" da estação experimental do Curado, Recife. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, n. 1, p. 207-214, 1968. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1968.v3.17937>.

OLIVEIRA, L. B. de; MARTINS, A. M. C. M. Considerações sobre a umidade a 15 atmosferas e a umidade de murchamento (método fisiológico), em solos do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 91-95, 1966. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1966.v1.18000>.

OLIVEIRA, L. B. de; MELO, V. de. Caracterização físico-hídrica do solo. I. Unidade Itapirema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, n. 1, p. 35-48, 1970. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1970.v5.17594>.

OLIVEIRA, L. B. de; MELO, V. de. Caracterização físico-hídrica do solo. II Unidade Utinga (Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 13, n. 3, p. 67-81, 1978. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1978.v13.16806>.

- OLIVEIRA, L. B. de; MELO, V. de. Estudo da disponibilidade de água em um solo da estação experimental de Itapirema, Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 1971. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1971.v6.17591>.
- OLIVEIRA, L. B. de. **Mineralogia, micromorfologia, gênese e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido do Nordeste Brasileiro**. 2007. 169 f. Tese (Doutorado em Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/1673/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- OLIVEIRA, L. B. de; QUEIROZ, E. N. de. Curvas características de retenção de umidade de solos do Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 10, n. 11, p. 69-75, 1975. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1975.v10.17127>.
- OLIVEIRA, M. B. de. **Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ**. 2005. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2005-1/1696-muriel-batista-de-oliveira-mestrado/file>. Acesso em: 11 maio 2022.
- OLIVEIRA, P. M. de; SILVA, A. M. da; COELHO, R.; SILVA, R. A. da. Análise comparativa da caracterização físico-hídrica de um Latossolo Vermelho distrófico *in situ* e em laboratório. **Irriga**, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2005. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2005v10n1p1-19>.
- OLIVEIRA, S. B. P. de; CARVALHO, M. S. B. de S.; SILVA, F. H. B. B. da; TAVARES, S. C. C. de H. (coord.). **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos: mesorregião do sul cearense**. Fortaleza: Funceme, 2012. v. 1. 1 CD-ROM. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/230434/1/Levantamento-de-reconhecimento-de-media-intensidade-dos-solos-CE-2012.zip>. Acesso em: 11 maio 2022.
- OLIVEIRA, V. H. de; ALVARENGA, M. I. N. **Principais solos do Acre**. Rio Branco, AC: EMBRAPA-UEPAE de Rio Branco, 1985. 40 p. (EMBRAPA-UEPAE Rio Branco. Documentos, 5). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116768/1/1121.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- OLNESS, A.; ARCHER, D. Effect of organic carbon on available water in soil. **Soil Science**, v. 170, n. 2, p. 90-101, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-200502000-00002>.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.
- OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 211-222, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200001>.
- PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 403-415, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200010>.
- PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 6, p. 1748-1757, 1999. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361748x>.
- PÁDUA JUNIOR, A. L. **Fatores edáficos de Latossolos férricos na produtividade de cana-de-açúcar na região Sul de Goiás**. 2016. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. DOI: <http://dx.doi.org/10.26512/2016.05.T.21172>.

PALMIERI, F. A study of a climosequence of soils derived from volcanic rock parent material in Santa Catarina and Rio Grande do Sul States, Brazil. 1986. 259 f. **Tese (Doutorado) – Purdue University, West Lafayette.**

PARAHYBA, R. da B. V. **Geoambientes, litotoposequência e características físico-hídricas de solos arenosos da bacia do Tucano, Bahia.** 2013. 269 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91566/1/TESE-DE-DOCTORADO-Roberto-da-Boa-Viagem-Parahyba-19-08-2013-MatrAcula-271004.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

PEQUENO, P. L. L. **Funções de pedotransferência para estimativa de retenção de água em solos da mesorregião do Agreste paraibano.** 2016. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31082.72643>.

PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; FONTANA, A.; DIAS NETO, A. H.; MIRANDA, L. P. M. de. Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 25-36, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100003>.

PETERSEN, G. W.; CUNNINGHAM, R. L.; MATELSKI, R. P. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: I. moisture retention as related to texture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, n. 2, p. 271-275, 1968a. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020031x>.

PETERSEN, G. W.; CUNNINGHAM, R. L.; MATELSKI, R. P. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: II. soil factors affecting moisture retention within a textural class-silt loam. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, n. 6, p. 866-870, 1968b. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200060042x>.

PIDGEON, J. D. The measurement and prediction of available water capacity of ferrallitic soils in Uganda. **European Journal of Soil Science**, v. 23, n. 4, p. 431-441, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1972.tb01674.x>.

PIEDALLU, C.; GÉGOUT, J.-C.; BRUAND, A.; SEYNAVE, I. Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. **Geoderma**, v. 160, n. 3/4, p. 355-366, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.004>.

POGGIO, L.; GIMONA, A.; BROWN, I.; CASTELLAZZI, M. Soil available water capacity interpolation and spatial uncertainty modelling at multiple geographical extents. **Geoderma**, v. 160, n. 2, p. 175-188, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.015>.

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; DE JONG VAN LIER, Q. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 49-54, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100009>.

PREBBLE, R. E.; STIRK, G. B. Effect of free iron oxide on range of available water in soils. **Soil Science**, v. 88, n. 4, p. 213-217, 1959. DOI: <http://doi.org/10.1097/00010694-195988040-00007>.

PRICE, J. Soil moisture, water tension, and water table relationships in a managed cutover bog. **Journal of Hydrology**, v. 202, n. 1/4, p. 21-32, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00037-1).

RAMOS, D. P. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, com base em fotografias aéreas e prospecção do terreno. 1970. 140 f. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.**

- RAMOS, H. M. M. **Funções de pedotransferência para estimativa da densidade e atributos físico-hídricos de solos do estado do Piauí**. 2017. 50 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172601/1/TESE-HERBERT.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- RAMOS, M. R.; CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; MELO, V. de F.; UHLMANN, A. Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da Formação Macacu, no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 837-845, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400002>.
- RATLIFF, L. F.; RITCHIE, J. T.; CASSEL, D. K. Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 4, p. 770-775, 1983. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700040032x>.
- RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, n. 1/2, p. 61-76, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6).
- RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A. Soil consistence and structure as predictors of water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 4, p. 1115-1126, 2002. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1115>.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- REEVE, M. J.; SMITH, P. D.; THOMASSON, J. The effect of density on water retention properties of field soils. **European Journal of Soil Science**, v. 24, n. 3, p. 355-367, 1973. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1973.tb00771.x>.
- REGO, R. S. **Caracterização e gênese de solos com plintita na Ilha de Marajó, PA**. 1986. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p.
- REINHART, K. G. The problem of stones in soil moisture measurement. **Soil Science Society of America Journal**, v. 25, n. 4, p. 268-270, 1961. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1961.03615995002500040012x>.
- REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 9., 2010, Rio Branco, AC. **Solos sedimentares em sistemas amazônicos**: potencialidades e demandas de pesquisa: guia de campo. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 204 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/97587/1/246682.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 2., 1982, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1983. 138 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 5). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62951/1/CNPS-DOC.-5-83.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1984, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 425 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 12). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62953/1/CNPS-DOC.-12-88.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.
- REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTOS DE SOLOS, 5., 1998, Recife. **Guia de excursão de estudos de solos nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia**. Recife: EMBRAPA-CNPS, 1998. 122 p.

REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS, 7., 2005, Rio de Janeiro. **Guia de excursão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. Editores: João Carlos Ker, Amaury de Carvalho Filho, Cristiane Valéria de Oliveira e Humberto Gonçalves dos Santos.

REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS, 8., 2008, Florianópolis. **Guia de excursão** [...]. Florianópolis: Epagri, 2008. 181 p.

RIBEIRO FILHO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C. de; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. (org.). **Guia de excursão pedológica do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**: solos da Zona da Mata de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos, 2005. 85 p. (Embrapa Solos. Documentos, 72). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61960/1/doc72-2005-guia-excursao-pedologicaxxx.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. R. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil-moisture tension. **Journal of Agricultural Research**, v. 69, n. 6, p. 215-235, 1944. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43969949/PDF>. Acesso em: 11 maio 2022.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; SILVA, J. M. L. da; VALENTE, M. A.; CAPECHE, C. L. **Caracterização físico-hídrica dos principais solos da Amazônia Legal**. I- Estado do Pará: relatório técnico. Belém, PA: EMBRAPA-SNLCS: FAO, 1991. 236 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/180211/1/8888.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. da; CORDEIRO, D. G.; GOMES, T. C. de A.; CARDOSO JÚNIOR, E. Q. **Caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental da Embrapa Acre, Rio Branco, Estado do Acre**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 43 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 122). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66701/1/Oriental-Doc122.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

ROMANO, N.; SANTINI, A. Field water capacity. In: DANE, J. H.; TOPP, C. G. (ed.). **Methods of soil analysis**: part 4: physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 722-738. (SSSA book series, 5). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c26>.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2002. 147 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 389-393, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200019>.

RUMBALL, P. J. Some effects of a variable water table on soil and pasture in Manawatu sand country. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, v. 6, n. 3, p. 241-249, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1080/03015521.1978.10426049>.

SACHS, L. **Angewandte statistik**. Berlin: Springer, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05746-9>.

SALTER, P. J.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: II. available-water capacity and moisture release characteristics. **European Journal of Soil Science**, v. 16, n. 2, p. 310-317, 1965. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1965.tb01442.x>.

SALTER, P. J.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soil: V. relationships between particle-size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available-water. **European Journal of Soil Science**, v. 20, n. 1, p. 126-131, 1969. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1969.tb01561.x>.

SANTANA, M. de B. **Caracterização e classificação de solos na ilha de assunção, Cabrobó - Pernambuco**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: http://www.pgs.ufrpe.br/sites/pgs.ufrpe.br/files/documentos/mayame_de_brito_santana.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREIRA, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 536 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

SANTOS, H. G. dos. **Solos intermediários entre Latossolo Vermelho-Amarelo e Podzólico Vermelho-Amarelo argila de atividade baixa: conceituação e distinção**. 1986. 293 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/330880/1/Tese-Humberto-Goncalves-dos-Santos-1986.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

SANTOS, J. C. P. dos; ARAÚJO FILHO, J. C. de; BARROS, A. H. C.; ACCIOLY, L. J. de O.; TAVARES, S. C. C. H.; SILVA, A. B. da. **Zoneamento agroecológico do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos; Alagoas: Secretaria de Estado de Agricultura e do Desenvolvimento Agrário de Alagoas, 2013. 9. v.

SANTOS, J. C. P. dos; ARAÚJO FILHO, J. C. de (ed.). **Avaliação detalhada do potencial de terras para irrigação nas áreas de reassentamento de colonos do Projeto Jusante - área 3, Glória, BA**. Recife: Embrapa Solos, 2008. 111 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148597/1/livro-proj-jusante-a3-gloria.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1569-1578, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>.

SCOTTER, D. R. An analysis of the effect of water table depth on plant-available soil water and its application to a yellow-brown sand. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 32, n. 1, p. 71-76, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288233.1989.10423479>.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C. de; CURI, N.; LIMA, J. M. de; GUIMARÃES, P. T. G.; LIMA, V. M. P. Potencialidades e limitações de uso de Latossolos e Cambissolos, sob sistema conservacionista em lavouras cafeiras. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1640-1652, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15154/13361>. Acesso em: 11 maio 2022.

SHAHNAZARI, H.; LALOUI, L.; KOUZEGARAN, S.; JAFARIAN, Y. Prediction and experimental evaluation of soil-water retention behavior of skeletal calcareous soils. **Bulletin**

of **Engineering Geology and the Environment**, v. 79, p. 2395-2410, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01695-9>.

SHARMA, M. L.; UEHARA, C. Influence of soil structure on water relations in low humic latossols. I. Water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, n. 6, p. 765-770, 1968. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200060021x>.

SHAW, R.; BREBBER, L.; AHERN, C.; WEINAND, M. A review of sodicity and sodic soil behavior in Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, n. 2, p. 143-172, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR9940143>.

SHAYKEWICH, C. F.; ZWARICH, M. A. Relationships between soil physical constants and soil physical components of some Manitoba soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 48, n. 2, p. 199-204, 1968. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss68-024>.

SHELDON, A. R.; DADAL, R. C.; KIRCHHOF, G.; KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. The effect of salinity on plant-available water. **Plant and Soil**, v. 418, p. 477-491, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3309-7>.

SILVA, A. C. da. **Retenção de água em classes de solos no oeste potiguar**. 2018. 69 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/8871/Ant%c3%b4nioCS_DISSERT.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, B. M.; SILVA, E. A. da; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. E. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 464-475, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200011>.

SILVA, E. A. da; BENEVENUTE, P. A. N.; MELO, L. B. B. de. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos das curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “índice S”. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 4, p. 49-54, 2017. Disponível em: <http://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-11-2017/v-11-n-4-novembro-2017/9-qualidade-fisica-de-um-latossolo.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de; RAUBER, J. C.; REATTO, A. **Caracterização físico-hídrica e hidráulica de solos do bioma Cerrado submetidos a diferentes sistemas de preparo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 22 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 101). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26266/1/bolpd_101.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, F. H. B. B. da; LUZ, L. R. Q. P. da; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SANTOS, J. C. P. dos (ed.). **Avaliação detalhada do potencial de terras para irrigação nas áreas de reassentamento de colonos do projeto Barreiras - Bloco 2, Tacaratu, PE**. Recife: Embrapa Solos, 2006. 153 p.

SILVA, F. W. A.; PORTELA, J. C.; SILVA, A. C. da; OLIVEIRA, M. A. de S.; FARIAS, P. K. P. Retenção de água em classes de solo no oeste potiguar em associação com as frações inorgânicas do solo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2018, João Pessoa. **Ciência, tecnologia e desenvolvimento rural: compartilhando conhecimentos inovadores e experiências: anais**. João Pessoa: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00657>.

SILVA, G. de M. e; BUSO, W. H. D.; OLIVEIRA, L. F. C. de; NASCIMENTO, J. L. do. Caracterização físico-hídrica de um Latossolo Vermelho perférrico submetido a dois sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, n. 2, p. 127-131, 2001. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2479/2443>. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, v. 167/168, p. 61-70, 2011a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.009>.

SILVA, J. M. L. da. **Caracterização e classificação de solos do terciário no Nordeste do estado do Pará**. 1989. 209 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.

SILVA, L. M.; FIDALSKI, J.; BERTOL, O. J. Disponibilidade de água do solo em uma catena característica do arenito no Noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. [Uberlândia]: SBCE: UFU, ICIAG, 2011b. 1 CD-ROM. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344313395_Disponibilidade_de_agua_do_solo_em_uma_catena_caracteristica_do_arenito_no_Noroeste_do_Parana_Fotos_Latossolo_Argissolo_e_Neossolo. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218466/1/Guia-de-campo-da-XIII-RCC-Maranhao.epub>. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, M. S. L. da. **Caracterização e gênese do adensamento subsuperficial em solos de tabuleiro do semi-árido do Nordeste do Brasil**. 2000. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/213td.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

SOUZA JÚNIOR, V. S. de. **Caracterização, gênese e manejo de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, estado de Alagoas**. 1999. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SILVA, J. C. S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1817-1824, 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2000.v35.5963>.

SUITS, D. B. Use of dummy variables in regression equations. **Journal of the American Statistical Association**, v. 52, n. 280, p. 548-551, 1957. DOI: <http://doi.org/10.1080/01621459.1957.10501412>.

SUMMER, M. E.; NAIDU, R. (ed.). **Sodic soils: distribution, properties, management, and environmental consequences**. New York: Oxford University Press, 1998.

TEIXEIRA, W. G. **Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey ferralsol in the Central Amazon**. 2001. 268 f. Tese (Doutorado) – Universitat Bayreuth, Bayreuth. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/671047/1/Landuse.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

TEIXEIRA, W. G.; VICTORIA, D. de C.; BARROS, A. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, F. A. M. da; LIMA, E. de P.; BUENO FILHO, J. S. de S.; MONTEIRO, J. E. B. de A. **Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. E-book. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento,

272). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224270/1/CNPS-BPD-272-2021.epub>. Acesso em: 11 maio 2022.

THOMAS, G. W.; MOODY, J. E. Chemical relationships affecting the water-holding capacities of clays. **Soil Science Society of America Journal**, v. 26, n. 2, p. 153-155, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1962.03615995002600020017x>.

THURLER, A. de M. 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. 2000. 128 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

TIMLIN, D. J.; PACHEPSKY, Y.; SNYDER, V. A.; BRYANT, R. B. Water budget approach to quantify corn grain yields under variable rooting depths. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 4, p. 1219-1226, 2001. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541219x>.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. **Soil Science**, v. 163, n. 3, p. 190-202, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-199803000-00003>.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400002>.

TORRES, G. N. Distribuição de partículas e retenção de água em solos arenosos do estado de Mato Grosso. 2017. 152 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

TÓTH, B.; MAKÓ, A.; GUADAGNINI, A.; TÓTH, G. Water retention of salt-affected soils: quantitative estimation using soil survey information. **Arid Land Research and Management**, v. 26, n. 2, p. 103-121, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/15324982.2012.657025>.

TUREK, M. E.; DE JONG VAN LIER, Q.; ARMINDO, R. A. Estimation and mapping of field capacity in Brazilian soils. **Geoderma**, v. 376, 114557, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114557>.

UNGER, P. W. Soil profile gravel layers: I. effect on water storage, distribution, and evaporation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 35, n. 4, p. 631-634, 1971. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040041x>.

VAN HOORN, J. W. Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 1958. DOI: <https://doi.org/10.18174/njas.v6i1.17718>.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil-moisture conditions in relation to plant growth. **Plant Physiology**, v. 2, n. 1, p. 71-82, 1927. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.2.1.71>.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil moisture in relation to plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 1, n. 1, p. 285-304, 1950. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.01.060150.001441>.

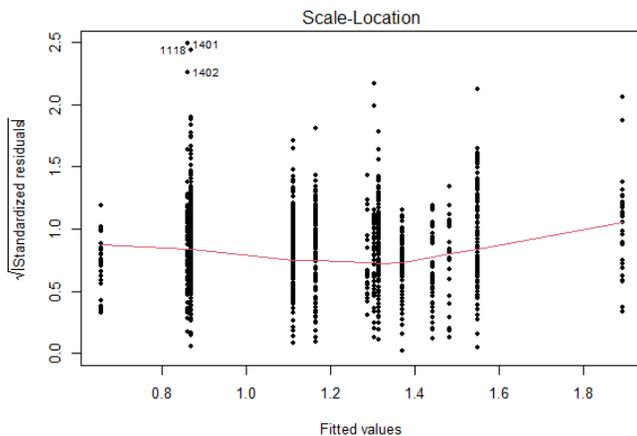
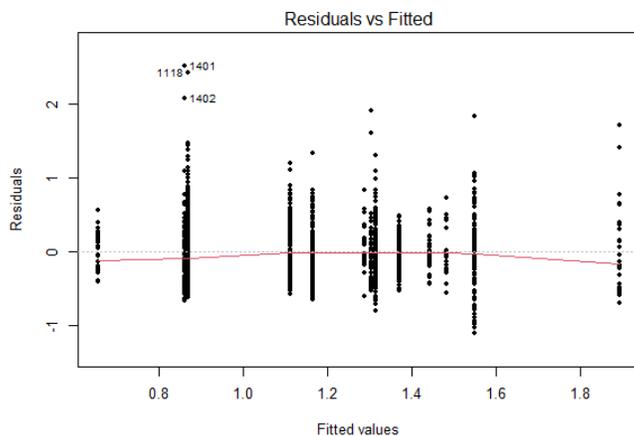
VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Some plant and soil-moisture relations. **Soil Science Society of America Journal**, v. B15, n. 2001, p. 76-80, 1934. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1934.036159950B1520010025x>.

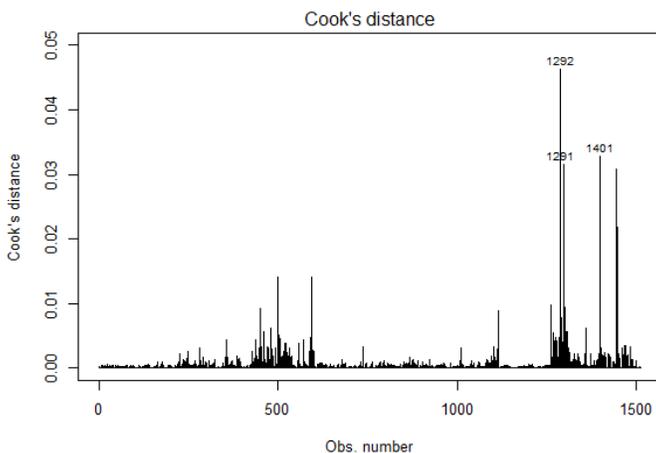
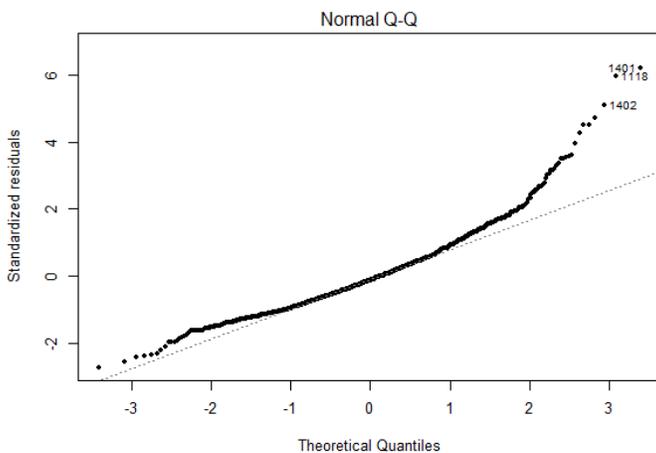
VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Science**, v. 32, n. 3, p. 181-194, 1931. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-193109000-00003>.

- WADA, K. Allophane and imogolite. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 1051-1088. (SSSA book series, 1). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c21>.
- WADA, K.; HARWARD, M. E. Amorphous clay constituents of soils. **Advances in Agronomy**, v. 26, p. 211-260, 1974. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60872-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60872-X).
- WARRENCE, K. J.; PEARSON, K. E.; BAUDER, J. W. **The basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties**. Bozeman: Montana State University, Land Resources and Environmental Sciences Department, 2002.
- WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 15th ed. Harlow: Pearson, 2017.
- WEISBERG, S. **Applied linear regression**. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014. 340 p.
- WILLIAMS, J.; PREBBLE, R. E.; WILLIAMS, W. T.; HIGNETT, C. T. The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic. **Australian Journal of Soil Research**, v. 21, n. 1, p. 15-32, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR9830015>.
- WINKLER, E. I. G.; GOEDERT, W. J. Características hídricas dos solos de Pelotas, Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 7, p. 1-4, 1972. (Agronomia, 5). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193354/1/Caracteristicas-hidricas-dos-solos-de-Pelotas.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.
- WOLF, J. M.; SOARES, W. V. Características de umidade de um Latosol Vermelho-Escuro do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 11, n. 12, p. 101-105, 1976. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1976.v11.16958>.
- WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 251, n. 3/4, p. 123-150, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00464-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00464-4).
- WÖSTEN, J. H. M.; VERZANDVOORT, S. J. E.; LEENAARS, J. G. B.; HOOGLAND, T.; WESSELING, J. G. Soil hydraulic information for river basin studies in semi-arid regions. **Geoderma**, v. 195/196, p. 79-86, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.021>.
- YU, D.; HU, F.; ZHANG, K.; LIU, L.; LI, D. Available water capacity and organic carbon storage profiles in soils developed from dark brown soil to boggy soil in Changbai Mountains, China. **Soil and Water Research**, v. 16, p. 11-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17221/150/2019-SWR>.
- ZETTL, J. D.; BARBOUR, S. L.; HUANG, M.; SI, B. C.; LESKIW, L. A. Influence of textural layering on field capacity of coarse soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 91, n. 2, p. 133-147, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss09117>.
- ZHOU, W.; LIU, G.; PAN, J.; FENG, X. Distribution of available soil water capacity in China. **Journal of Geographical Sciences**, v. 15, n. 1, p. 3-12, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02873101>.

Apêndice 1. Análise gráfica de resíduos nos modelos desenvolvidos para predição de água disponível (AD) em solos do Brasil.

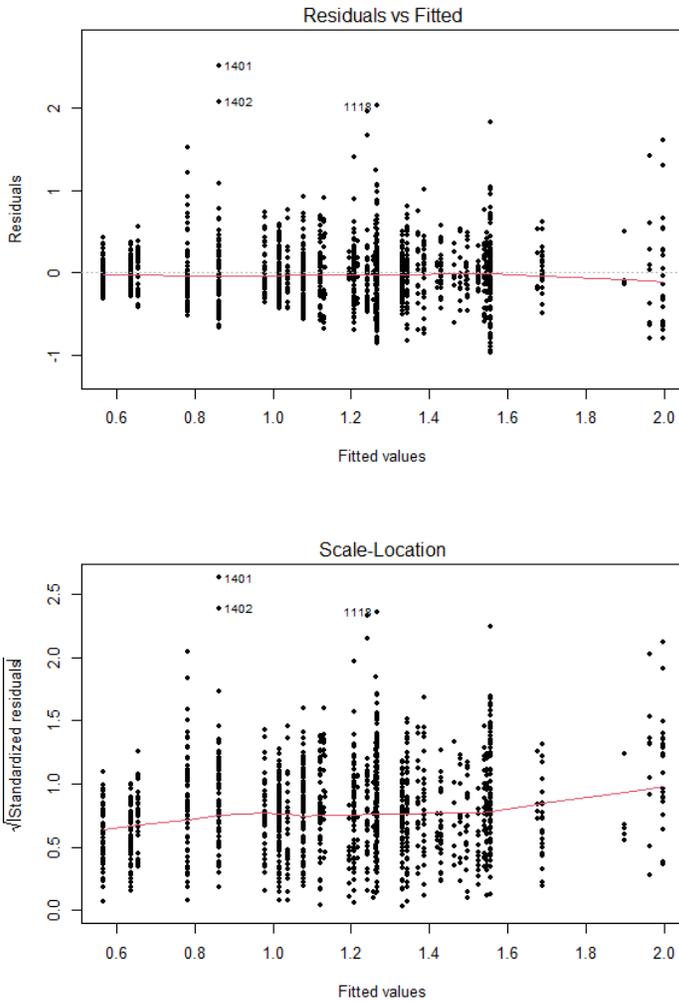
Apêndice 1.1. Gráficos com informações de resíduos relativos ao modelo de regressão linear simples utilizando a ordem de solo segundo o SiBCS como a variável preditora de AD.

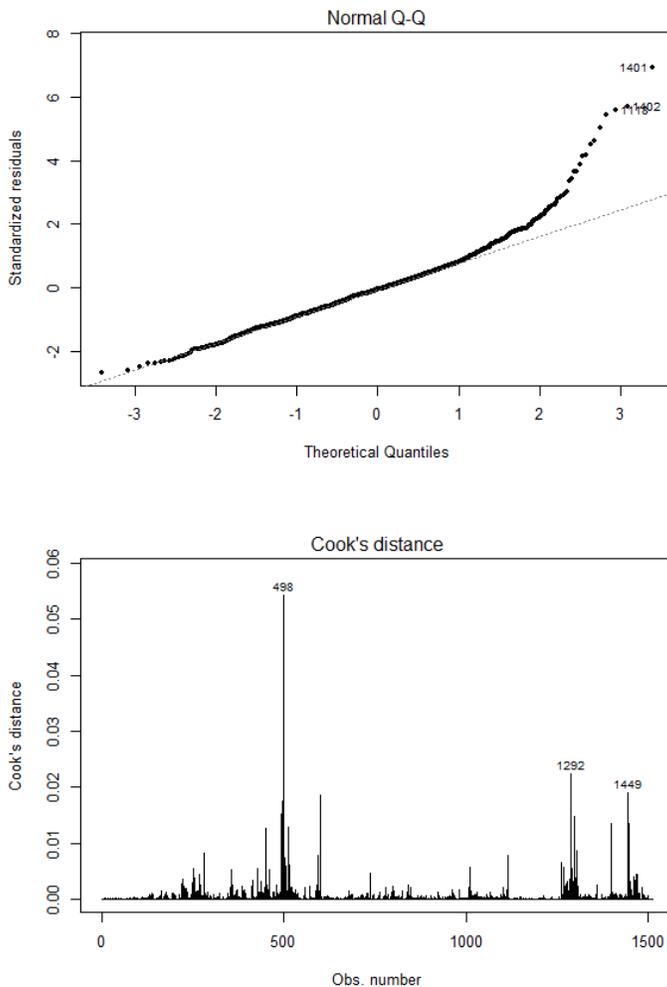




Observações: (1) os resíduos se distribuem de maneira razoavelmente aleatória, mas com amplitudes diferentes em torno de zero; (2) os resíduos padronizados mostram desvios da normalidade; (3) a amplitude da raiz quadrada dos resíduos padronizados possui algumas distorções na sua distribuição; e (4) há pontos influentes, mas não ultrapassam a chamada distância de Cook que deve ser menor que 2, não sendo, assim, *outliers*.

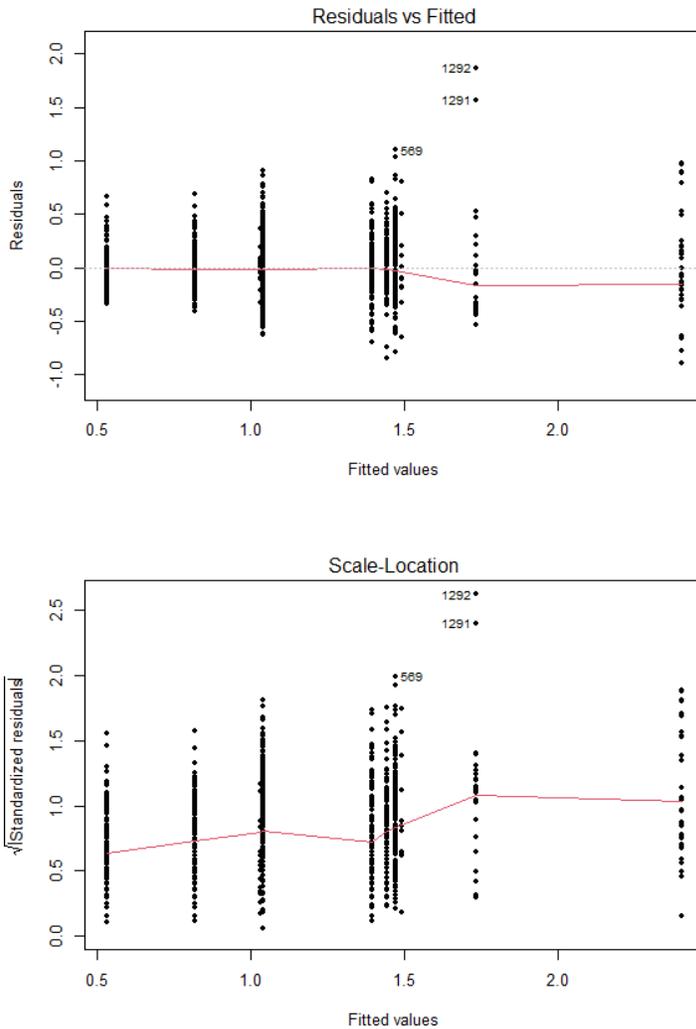
Apêndice 1.2. Gráficos com informações de resíduos relativos ao modelo de regressão linear simples utilizando a subordem e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS como a variável preditora de AD.

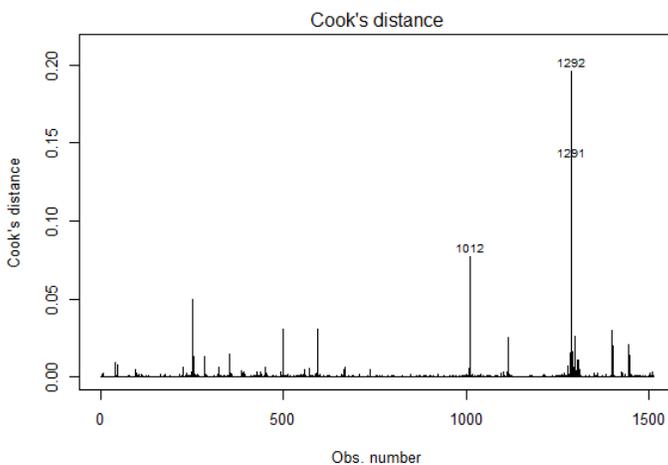
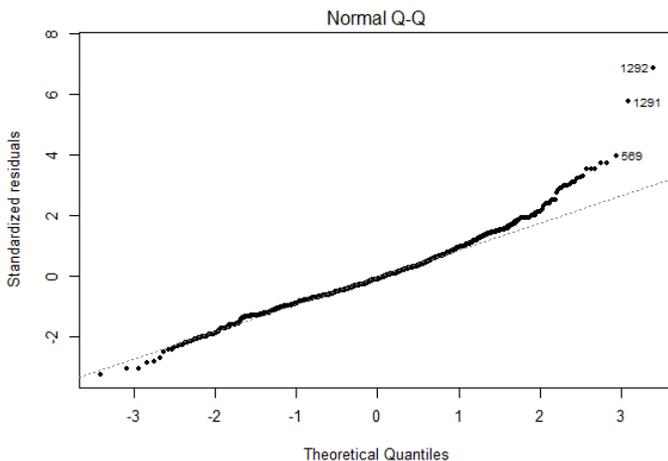




Observações: (1) os resíduos se distribuem de maneira razoavelmente aleatória, mas mostram algumas amplitudes diferentes em torno de zero; (2) os resíduos padronizados mostram alguns desvios da normalidade; (3) a amplitude da raiz quadrada dos resíduos padronizados mostra algumas distorções na distribuição; e (4) há pontos influentes, mas que não ultrapassam a chamada distância de Cook que deve ser menor que 2.

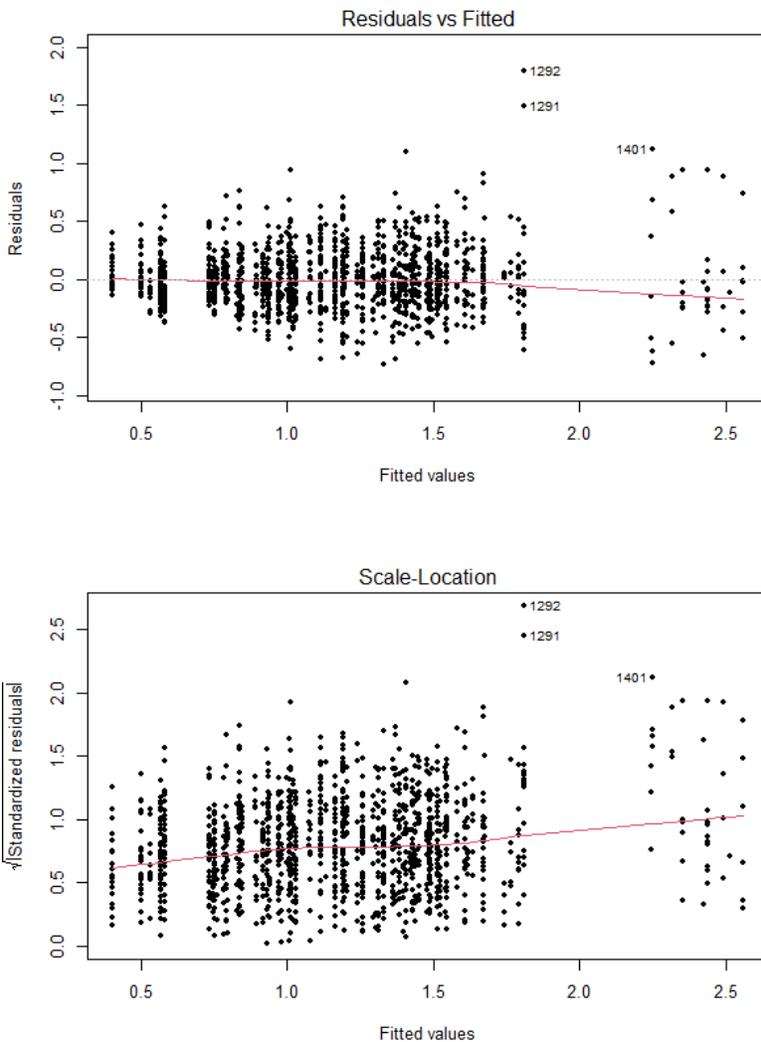
Apêndice 1.3. Gráficos com informações de resíduos relativos ao modelo de regressão linear simples utilizando grupamentos texturais do solo como a variável preditora de AD.

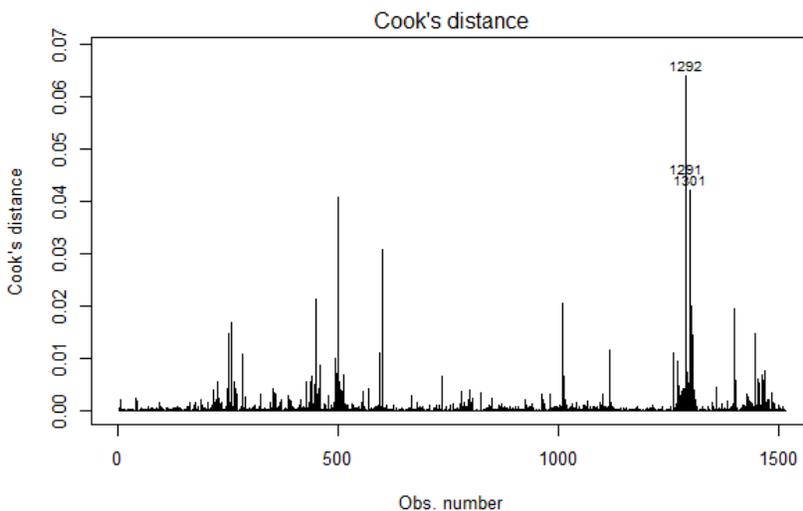
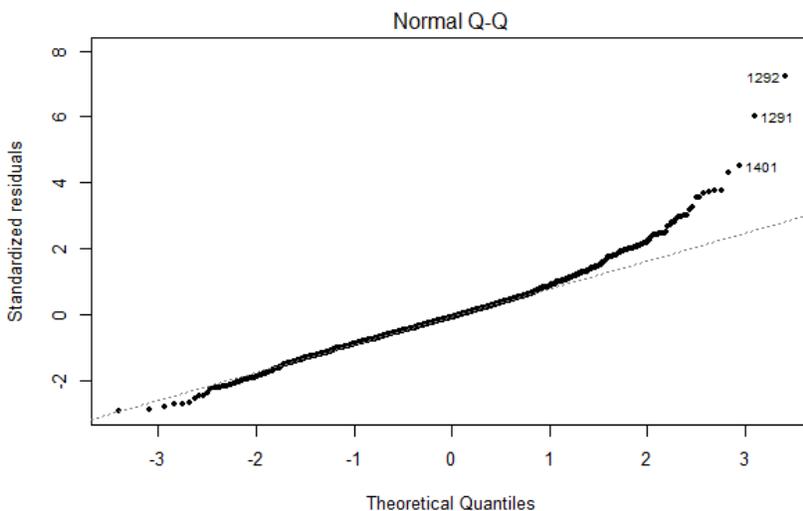




Observações: (1) os resíduos se distribuem de maneira aleatória e com amplitudes em torno de zero; (2) os resíduos padronizados ocorrem, praticamente, dentro da normalidade; (3) a amplitude da raiz quadrada dos resíduos padronizados ocorrem bem distribuídos; e (4) os pontos não ultrapassam a chamada distância de Cook que deve ser menor que 2.

Apêndice 1.4. Gráficos com informações de resíduos relativos ao modelo de regressão linear múltipla utilizando subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS e grupamentos texturais de solo como variáveis preditoras de AD.





Observações: (1) os resíduos se distribuem de maneira aleatória e com amplitudes em torno de zero; (2) os resíduos padronizados ocorrem, praticamente, dentro da normalidade; (3) a amplitude da raiz quadrada dos resíduos padronizados ocorrem bem distribuídos; e (4) os pontos não ultrapassam a chamada distância de Cook que deve ser menor que 2.

Apêndice 2. Mapa de água disponível (AD) de solos representativos do território nacional disponibilizado em base cartográfica escala 1:250.000.

Link para acessar o mapa (JPG) na plataforma de dados geoespaciais (Geoinfo) da Embrapa: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/2930>.

Link para acessar o mapa (shapefile) na plataforma de dados geoespaciais do PronaSolos: <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>.

Apêndice 3. Catálogo com valores de água disponível de solos representativos do Brasil (AD-Brasil)

Link para impressão do catálogo AD-Brasil: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1143345/1/catalogo.jpg>.

Apêndice 3.1. Estatística descritiva da AD (mm cm⁻¹) realizada com 1.514 perfis de solos representativos da cobertura pedológica do Brasil em função de agrupamentos texturais relacionados às subordens e grandes grupos taxonômicos de solos selecionados segundo o SiBCS. Valores da mediana de AD estão apresentados em negrito.

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁴⁾	Mín. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
ARGISSOLOS – P									
PABC*	Arenosa/média	39	0,85	0,19	22	0,85	0,30	0,58	1,50
Argissolo Bruno-Acinentado	Arenosa/média/argilosa	21	1,03	0,14	13	1,04	0,10	0,70	1,40
PAC*	Média, arenosa/argilosa	34	0,90	0,19	21	0,86	0,19	0,60	1,42
Argissolo Acinentado	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	42	1,26	0,21	17	1,28	0,28	0,70	1,61
PA									
Argissolo Amarelo	Arenosa/média	18	0,86	0,20	23	0,90	0,33	0,54	1,13
	Média, arenosa/argilosa	18	0,98	0,16	16	1,04	0,26	0,68	1,18
PV	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	26	1,39	0,21	15	1,31	0,24	1,10	1,81
Argissolo Vermelho	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,17	0,13	11	1,19	0,15	1,00	1,30

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CY ⁽³⁾	Mediana	Inter. Interg. ⁽⁴⁾	Mín. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
PVA	Arenosa/média	10	0,84	0,15	18	0,87	0,26	0,61	1,01
	Média, arenosa/argilosa	15	1,04	0,18	17	1,06	0,15	0,68	1,35
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	8	1,28	0,32	25	1,20	0,31	0,89	1,80
PVva*	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, argilosa, média/argilosa/muito argilosa	15	1,59	0,28	18	1,62	0,36	1,20	2,22
Argissolo AmareloTa Aluminico	argilosa-média/muito argilosa	11	1,82	0,21	12	1,80	0,20	1,50	2,30
Argissolo Vermelho AmareloTa Aluminico	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	11	1,82	0,21	12	1,80	0,20	1,50	2,30
CAMBISSOLOS – C									
Cl*	Argilosa	5	1,24	0,28	23	1,30	0,16	0,84	1,60
Cambissolo Hístico	Argilosa	5	1,24	0,28	23	1,30	0,16	0,84	1,60
CH	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	2	1,15	0,35	30	1,15	0,25	0,90	1,40
Cambissolo Húmico	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	2	1,15	0,35	30	1,15	0,25	0,90	1,40
CY	Média	16	1,25	0,41	33	1,24	0,69	0,64	1,82
Cambissolo Flúvico	Média/argilosa, argilosa	8	1,49	0,11	7	1,48	0,14	1,31	1,67
	Siltosa	2	2,08	0,44	21	2,08	0,31	1,77	2,40
CX	Média	36	1,01	0,25	25	0,97	0,30	0,51	1,69
Cambissolo Háptico	Média/argilosa, argilosa	33	1,34	0,23	17	1,32	0,28	0,60	1,83
	Siltosa	3	2,15	0,44	20	2,10	0,43	1,74	2,61
CXk	Média	30	1,14	0,31	27	1,11	0,37	0,51	1,90
Cambissolo Háptico Carbonático	Média/argilosa, argilosa	26	1,58	0,28	18	1,48	0,46	1,21	2,14

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾	Mediana	Interq. ⁽⁴⁾	Min. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
CXva	Média	8	1,22	0,22	18	1,21	0,38	0,95	1,48
Cambissolo Háptico	Média/argilosa, argilosa	8	1,62	0,17	10	1,60	0,23	1,40	1,87
Ta Aluminico	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	6	1,87	0,24	13	1,86	0,17	1,60	2,30
CHERNOSSOLOS – M									
ME*	Média/(argilosa-muito sa), média/argilosa, argilosa, média/argilosa/muito argilosa	6	1,68	0,31	18	1,50	0,33	1,47	2,20
Chernossolo Ebânico MD	argilo-média/muito								
Chernossolo Rên-dzico	argilosa, média/argilosa/muito argilosa								
MT	Média/(argilosa-muito sa), média/argilosa, argilosa, média/argilosa/muito argilosa	12	1,45	0,30	21	1,38	0,35	1,04	1,98
Chernossolo Argilúvico	argilosa, média/argilosa/muito argilosa								
MX	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,65	0,36	22	1,70	0,49	1,21	1,98
Chernossolo Háptico	Média	6	1,26	0,18	14	1,26	0,11	0,92	1,45
ESPODOSSOLOS – E									

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾	Mediana	Inter. Interg. ⁽⁴⁾	Min. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
EK	Arenosa	13	0,44	0,11	25	0,45	0,06	0,24	0,61
Esodossolo Humilúvico									
ES*									
Esodossolo Ferri-lúvico	Arenosa/média	13	0,87	0,14	16	0,87	0,15	0,70	1,22
ESK*									
Esodossolo Ferri-Humilúvico									
GLEISSOLOS – G									
GJ	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,77	0,02	1	1,77	0,03	1,75	1,80
Gleissolo Tiomórfico	Siltosa	1	2,40	-	-	2,40	-	2,40	2,40
GZ	Média/(argilosa-muito sa), média/argilosa, argilosa, média/argilosa/muito argilosa	5	1,49	0,32	21	1,36	0,26	1,16	1,99
Gleissolo Sáfico	Siltosa	4	2,56	0,59	23	2,41	0,56	2,05	3,38
GM	Arenosa/média	6	0,69	0,27	39	0,58	0,23	0,45	1,19
Gleissolo Melânico	Média, arenosa/argilosa	4	1,14	0,27	24	1,12	0,43	0,90	1,44
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,78	0,19	11	1,76	0,13	1,56	2,03

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CY ⁽³⁾	Mediana	Interq. ⁽⁴⁾	Mín. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
GX Gleissolo Háptico	Arenosa/média	15	0,88	0,20	23	0,89	0,23	0,59	1,25
	Média, arenosa/argilosa	15	1,27	0,27	21	1,31	0,33	0,70	1,63
	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	11	1,47	0,22	15	1,47	0,26	1,02	1,78
LB Latosolo Bruno	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	31	1,73	0,29	17	1,71	0,26	1,30	2,57
	Siltosa	12	2,40	0,33	14	2,30	0,18	2,15	3,38
LATOSSOLOS – L									
LA Latosolo Amarelo	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	4	1,14	0,35	31	1,04	0,42	0,86	1,60
	Arenosa/média	33	0,83	0,21	25	0,80	0,33	0,51	1,23
	Média	21	0,91	0,17	19	0,91	0,28	0,60	1,13
LV Latosolo Vermelho	Média/argilosa, argilosa	14	1,10	0,22	20	1,15	0,21	0,60	1,36
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	40	1,36	0,22	16	1,34	0,30	0,92	2,00
LVA Latosolo Vermelho- -Amarelo	Arenosa/média	5	0,79	0,05	6	0,80	0,06	0,72	0,85
	Média	13	0,96	0,18	19	0,91	0,14	0,68	1,30
LVA Latosolo Vermelho- -Amarelo	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	46	1,40	0,26	18	1,36	0,29	1,00	2,50
	Arenosa/média	17	0,75	0,08	11	0,73	0,12	0,62	0,92
LVA Latosolo Vermelho- -Amarelo	Média	14	0,98	0,19	19	0,92	0,16	0,79	1,54
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	11	1,34	0,23	17	1,35	0,25	0,92	1,71

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	Cv ⁽³⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁴⁾	Mín. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
LVj									
Latossolo Vermelho Perférrico	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	5	1,42	0,14	10	1,50	0,21	1,23	1,54
LVw									
Latossolo Vermelho Ácrico	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	27	1,55	0,26	17	1,55	0,39	1,00	1,95
LUVISSOLOS – T									
TC									
Luvissole Crômico TX*	Média, arenosa/argilosa	34	1,19	0,20	17	1,18	0,28	0,83	1,62
TC									
Luvissole Crômico TX*	Média/argilosa, média/(argilosa-muito argilosa)	35	1,47	0,19	13	1,47	0,29	1,11	1,83
TCac									
Luvissole Crômico do estado do Acre	Média/argilosa média/(argilosa-muito argilosa)	18	1,52	0,13	8	1,54	0,11	1,30	1,85
NEOSSOLOS – R									
RL									
Neossolo Litólico	Arenosa	24	0,46	0,14	30	0,40	0,19	0,26	0,80
	Média	47	0,80	0,31	39	0,75	0,40	0,41	1,60
	Argilosa	8	1,65	0,34	21	1,55	0,39	1,30	2,30
	Arenosa/média	22	0,84	0,30	36	0,76	0,49	0,41	1,39
	Média, arenosa/argilosa	45	1,12	0,31	28	1,07	0,50	0,43	1,74
RY									
Neossolo Flúvico	Média/argilosa	16	1,51	0,22	15	1,51	0,26	1,11	1,95
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	12	1,66	0,32	19	1,63	0,47	1,19	2,33
	Siltosa	7	2,34	0,43	18	2,15	0,15	2,10	3,29

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾	Mediana	Interq. ⁽⁴⁾	Min. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
RR Neossolo Regolítico	Arenosa	31	0,56	0,17	30	0,52	0,23	0,35	0,97
	Arenosa/média	32	0,70	0,14	20	0,68	0,20	0,44	1,00
	Média	2	0,84	0,11	13	0,84	0,08	0,76	0,92
RQ Neossolo Quartzarênico	Arenosa	63	0,57	0,17	30	0,57	0,23	0,25	1,00
NITOSSOLOS – N									
NB Nitossolo Bruno	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	16	1,20	0,09	8	1,17	0,08	1,11	1,44
NV Nitossolo Vermelho NX*	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	18	1,37	0,34	25	1,31	0,38	0,68	2,11
NX: Nitossolo Háptico									
ORGANOSSOLOS (O)									
OJ Organossolo Tiomórfico	Média a muito argilosa Siltosa	18	1,81	0,67	37	1,62	0,54	1,20	3,60
		6	2,56	0,42	16	2,54	0,29	2,05	3,30

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾	Mediana	Inter. Interg. ⁽⁴⁾	Mín. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
OO*									
Organossolo Fólico OX	Média a muito argilosa	7	1,55	0,28	18	1,45	0,40	1,30	2,03
Organossolo Háplico									
PLANOSSOLOS – S									
SN ^{**}	Arenosa	41	0,53	0,21	40	0,50	0,22	0,20	1,20
Planossolo Nátrico	Arenosa/média	5	0,68	0,12	18	0,71	0,16	0,51	0,81
SX ^{**}	Média	41	1,07	0,28	26	1,07	0,29	0,41	1,95
Planossolo Háplico	Siltosa	4	2,36	0,93	39	2,28	1,44	1,52	3,37
PLINTOSSOLOS – F									
FF*	Arenosa/média	11	0,91	0,11	12	0,86	0,13	0,77	1,14
	Média	11	1,14	0,20	18	1,15	0,25	0,80	1,41
Plintossolo Pétrico	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	14	1,23	0,21	17	1,27	0,22	0,82	1,53
Plintossolo Argilúvico	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	2	1,66	0,14	8	1,66	0,10	1,56	1,76
	Siltosa	3	2,62	0,76	29	2,90	0,72	1,76	3,20

Continua...

Classe de solo	Grupamento textural	n ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾	Mediana	Inter. Interq. ⁽⁴⁾	Min. ⁽⁵⁾	Máx. ⁽⁶⁾
FTa Plintossolo Argilúvico Aluminico	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, Média/argilosa/muito argilosa	6	1,49	0,11	7	1,50	0,16	1,35	1,62
	Arenosa/média	1	0,85	-	-	0,85	-	0,85	0,85
FX Plintossolo Háptico	Média/(argilosa-muito argilosa), média/argilosa, média/muito argilosa, média/argilosa/muito argilosa	5	1,58	0,18	11	1,55	0,29	1,40	1,81
	Argilosa/muito argilosa, muito argilosa	3	1,47	0,21	14	1,40	0,20	1,31	1,71
VERTISSOLOS – V									
VE Vertissolo Ebânico	Argilosa, argilosa/muito argilosa, muito argilosa	14	1,48	0,34	23	1,42	0,37	1,01	2,01
VG* Vertissolo Hidromórfico VX	Argilosa, argilosa/muito argilosa, muito argilosa	32	1,43	0,23	16	1,40	0,26	1,00	2,00

⁽¹⁾Número de perfis; ⁽²⁾DP: desvio padrão; ⁽³⁾CV: coeficiente de variação; ⁽⁴⁾Inter. Interq.: intervalo interquartil; ⁽⁵⁾Min.: mínimo; ⁽⁶⁾Max.: máximo.

*Classes de solos nas quais não foram calculados valores de AD por falta de dados; **valores de AD calculados apenas nos horizontes superficiais (A ou A + E).

Apêndice 3.2. Estatística descritiva da AD (mm cm⁻¹) na subordem dos Neossolos Quartzarênicos conforme subgrupos texturais adotados no SiBCS. Valores da mediana de AD estão apresentados em negrito.

Classe de solo	Subgrupos de textura ⁽¹⁾	n	Média	DP	CV	Mediana	Intervalo Inter-quartilico	Mín.	Máx.
	Neossolo Quartzarênico - RQ								
RQ1 Neossolo Quartzarênico	Muito arenosa	30	0,45	0,12	27	0,45	0,17	0,25	0,70
RQ2 Neossolo Quartzarênico	Arenosa-média	33	0,67	0,12	18	0,67	0,14	0,50	1,00

⁽¹⁾Os subgrupos texturais nas classes muito arenosa e arenosa-média compõem o grupamento de textura arenosa

Apêndice 4. Relações entre a água disponível e os grupamentos texturais representativos da cobertura pedológica do Brasil

No	Grupamento textural	N (número de perfil)	Mediana de AD (mm cm ⁻¹)
1	Arenosa	172	0,51
2	Arenosa/média	227	0,80
3	Arenosa/média/argilosa	21	1,04
4	Média	410	1,01
5	Média/argilosa	158	1,46
6	Média/argilosa-muito argilosa	142	1,37
7	Média a muito argilosa	25	1,58
8	Argilosa	13	1,39
9	Argilosa/muito argilosa	304	1,41
10	Siltosa	42	2,30

Observação 1: o grupamento textural na classe “média/(argilosa-muito argilosa)” inclui as texturas: média/argilosa/muito argilosa e média/muito argilosa;

Observação 2: o grupamento textural na classe argilosa/muito argilosa compreende as texturas: argilosa a muito argilosa e muito argilosa; e

Observação 3: o grupamento textural na classe “média a muito argilosa” é exclusivo para a ordem dos Organossolos.

Embrapa

Solos