



## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA E UMIDADES DE SATURAÇÃO E RESIDUAL SUPERFICIAL DOS SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA

Paulo Roberto Megna Francisco<sup>1</sup>

Djail Santos<sup>2</sup>

Flávio Pereira de Oliveira<sup>3</sup>

George do Nascimento Ribeiro<sup>4</sup>

Viviane Farias Silva<sup>5</sup>

Raimundo Calixto Martins Rodrigues<sup>6</sup>

*Conservação de solos e recuperação de áreas degradadas*

### *Resumo*

Este trabalho propôs estimar e mapear condutividade hidráulica saturada e as umidades de saturação e residual da camada superficial dos solos do Estado da Paraíba utilizando funções pedotransferência e modelagem através de técnicas de geoprocessamento. Utilizou-se dos dados dos atributos químicos e físicos descritos nos perfis representativos do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba da camada superficial e utilizando FTPs foram estimadas a condutividade hidráulica do solo saturado, a estimativa a umidade de saturação a estimativa da umidade de saturação residual e utilizado o QGIS<sup>®</sup> para o mapeamento. A condutividade hidráulica saturada apresentou-se predominantemente na classe média à baixa, promovida pelas características da textura arenosa dos solos. Os maiores valores de condutividade hidráulica saturada com presença de matéria orgânica apresentaram-se em sua maioria na região do Litoral e Agreste onde não ocorre o clima semiárido. A ocorrência da umidade de saturação apresentou concordância com as características de textura dos solos definindo faixas de mapeamento representativas. A umidade de saturação residual da classe Alta foi influenciada pelos maiores teores de argila na composição dos solos.

**Palavras-chave:** atributos físicos, matéria orgânica, densidade, pedometria, modelagem.

<sup>1</sup>Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais – PPGEGRN, Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, paulomegna@gmail.com

<sup>2</sup>Professor Dr. Universidade Federal da Paraíba, djail.santos@academico.ufpb.br

<sup>3</sup>Professor Dr. Universidade Federal da Paraíba, flavio.oliveira@academico.ufpb.br

<sup>4</sup>Professor Dr. Universidade Federal de Campina Grande, george@ufcg.edu.br

<sup>5</sup>Professora Dra. Universidade Federal de Campina Grande viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

<sup>6</sup>Professor Dr. Universidade Estadual do Maranhão, calixto@cca.uema.br



## INTRODUÇÃO

Normalmente, para fazer inferências do valor verdadeiro das propriedades hidrodinâmicas do solo é necessário coletar um grande número de informações, e isso implica em ensaios de campo e de laboratório dispendiosos e que demandam um tempo longo de execução. O custo efetivo dessas determinações levou alguns pesquisadores a utilizarem métodos indiretos que se baseiam em dados do solo prontamente disponíveis, usuais e de baixo custo, como a textura, a densidade dos solos, a porosidade, o teor de matéria orgânica, dentre outros (MINASNY et al., 1999; MINASNY & MCBRATNEY, 2002). Essas relações são comumente denominadas de Funções de Pedotransferência - FPT (pedotransfer functions). De acordo com Wösten et al. (2001), a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, o teor de matéria orgânica, a umidade, o teor de certos componentes da fração argila, são alguns dos atributos do solo mais utilizados para gerar FPTs.

Na tentativa de estimar as propriedades hidráulicas de solos foram desenvolvidas pedofunções como por Barros et al. (2013) para solos da região semiárida brasileira. Neste sentido, propõe-se por este trabalho, estimar e mapear condutividade hidráulica saturada e as umidades de saturação e residual da camada superficial dos solos do Estado da Paraíba utilizando pedotransferência e modelagem através de técnicas de geoprocessamento.

## METODOLOGIA

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (FRANCISCO, 2010). De uma forma geral os solos predominantes são os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos, Neossolos Regolíticos Distróficos e Eutróficos distribuídos pela região do sertão e nos cariris, os Vertissolos na região de Souza, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (FRANCISCO, 2010).

Inicialmente foi criada uma planilha no Excel<sup>®</sup> onde utilizou-se dos dados dos atributos físicos descritos nos 64 perfis representativos de PARAÍBA (1978) (Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba) e de maneira complementar à alguns perfis do Litoral foi utilizado o Levantamento pedológico detalhado e estoque de carbono orgânico do solo da Floresta Nacional Restinga de Cabedelo (EMBRAPA, 2017). Foi considerada a camada de solo superficial representando em termos médios, a camada de solo agricultável. Utilizando a técnica da pedometria, os dados dos perfis obtidos foram

transferidos seus valores para solos similares descritos no Boletim do Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972) para se enquadrarem ao mapa de solos.

Para estimar a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) foi utilizada a FPT desenvolvida por Rodrigues e Maia (2011) (Equação 1) em que se considera as propriedades físicas dos solos e também foi utilizada a FPT desenvolvida por Wösten et al. (1999) (Equação 2) que se considera a matéria orgânica dos solos ( $\ln K_s$ ). Para a estimativa a umidade de saturação ( $\Theta_s$ ) foi utilizada a FPT proposta por Barros et al. (2013) (Equação 3), e para da estimativa da umidade de saturação residual ( $\Theta_r$ ) foi utilizada a FPT proposta por Oliveira et al. (2002) (Equação 4).

$$K_s = 2874,57 - 1772,17D_s - 11,75ARG - 18,73AG \text{ (Eq.1)}$$

$$\ln(K_s) = 7,75 + 0,0352SIL + 0,93 PC - 0,967 D_s^2 - 0,000484 ARG^2 - 0,000322 SIL^2 + 0,001 SIL^{-1} - 0,0748 MO^{-1} - 0,643 \ln(SIL) - 0,01398 D_sARG - 0,1673 D_s MO + 0,02986 PCARG - 0,03305 PCSIL \text{ (Eq.2)}$$

$$\Theta_s = 0,5526 - 0,2320 AR - 0,1178 ARG \text{ (Eq.3)}$$

$$\Theta_r = -0,000021AR + 0,000203 SIL + 0,000054 ARG + 0,021656 D_s \text{ (Eq.4)}$$

Em que:  $K_s$  em  $m^3 m^{-3}$ ;  $\ln(K_s)$  em  $m^3 m^{-3}$ ;  $\Theta_s$  em  $m^3 m^{-3}$ ;  $\Theta_r$  em  $m^3 m^{-3}$ ; AG: areia grossa (%); AF: areia fina (%); AR: areia total (%); SIL: silte (%); ARG: argila (%); MO: matéria orgânica (%);  $D_s$ : densidade do solo ( $kg dm^{-3}$ ); PC: profundidade de coleta onde apresenta valor 1 = coleta superficial ou valor 0 = subsuperficial.

Utilizando-se o software QGIS<sup>®</sup> 3.3 foi importado arquivo digital em formato shape dos solos da área de estudo na escala de 1:200.000 fornecido pela AESA (PARAÍBA, 2006), representando a área de estudo e a ocorrência e distribuição das classes de solos predominantes no Estado e seus limites atualizados (IBGE, 2021). Em seguida, utilizando a tabela de atributos os polígonos dos solos foram classificados com os valores obtidos e transformados no formato *raster* e após classificados conforme a Tabela 1. Para os cálculos de áreas foi utilizada a calculadora *raster* e o *plugin* GRASS<sup>®</sup> *r.report*.

Tabela 1. Parâmetros de classificação das variáveis físicas dos solos

Variável	Classe				
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
$K_s$ ( $m^3 m^{-3}$ )	< 0,400	0,400 - 0,800	0,800 - 1,200	1,200 - 1,600	> 1,600



**EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS**

$\ln(K_s)$ ( $m^3 m^{-3}$ )	< 0,400	0,400 - 0,800	0,800–1,200	1,200 - 1,600	> 1,600
$\Theta_s$ ( $m^3 m^{-3}$ )	<0,300	0,300 – 0,340	0,340–0,380	0,380 - 0,420	> 0,420
$\Theta_r$ ( $m^3 m^{-3}$ )	< 0,300	0,300 – 0,340	0,340 – 0,380	0,380 - 0,420	> 0,420

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1a observa-se a distribuição espacial da Condutividade hidráulica do solo saturado em que se distribui em 65,50% (36.984,26 km<sup>2</sup>) das terras na classe Média (0,800 – 1,200 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) distribuída por todo o Estado na diversidade de solos; a classe Alta (1,200 - 1,600 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) contempla somente 5,65% da área sob os Luvisolos no interior do Estado e sob os Neossolos Quartzarênicos no Litoral; quanto as classes Baixa e Muito Baixa (<0,400 - 0,800 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) apresentam-se em 28,85% dos solos distribuída por toda a área sob os Neossolos Flúvicos. A classe Muito Alta (>1,600 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) não apresenta área espacializada por este trabalho.

Na Figura 1a observa-se a distribuição espacial da Condutividade hidráulica do solo saturado com presença de matéria orgânica que apresenta 71,24% (40.226,89 km<sup>2</sup>) das terras na classe Média (0,800 – 1,200 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) distribuída por todo o interior do Estado na diversidade de solos; a classe Alta (1,200 - 1,600 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e Muito Alta (>1,600 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) se apresentam em 14,69% (8.290,14 km<sup>2</sup>) da área localizada em sua maioria no Litoral e áreas adentrando o interior; quanto as classes Baixa e Muito Baixa (<0,400 - 0,800 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) apresentam-se em 14,08% (7.950,21 km<sup>2</sup>) sob os Luvisolos no interior e sob Neossolos Quartzarênicos no Litoral.

Conforme a Figura 1c pode-se observar a distribuição espacial da Umidade de saturação do solo distribuída em 68,88% (38.898,77 km<sup>2</sup>) das terras na classe Alta (0,380 - 0,420 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e Muito Alta (>0,420 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) por toda a região interiorana sob clima semiárido na diversidade de solos, e no Litoral sob os Neossolos Flúvicos e Gleissolos; a classe Média (0,340 – 0,380 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) distribuída em 13.817,76 km<sup>2</sup> (24,47%) por todo o Estado na diversidade de solos; quanto as classes Baixa e Muito Baixa (<0,300 - 0,340 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) perfazem 6,64% (3.750,72 km<sup>2</sup>) sob os Neossolos Quartzarênicos localizados na região do Brejo. Através da Figura 1d observa-se a distribuição espacial da Umidade de saturação residual do solo distribuída em 48,02% (27.115,95 km<sup>2</sup>) das terras na classe Muito Alta (>0,420 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) por toda a região interior da área de estudo sob a diversidade de solos; a classe Alta (0,380 - 0,420 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) apresenta-se em 15.775,86 km<sup>2</sup> distribuída em 27,94% das terras; a classe Média (0,340 – 0,380 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) distribuída em 6.651,31 km<sup>2</sup> (11,78%) por todo o Estado; quanto as classes Baixa e Muito Baixa (<0,300 a 0,340 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) perfazem 12,26% (6.924,12 km<sup>2</sup>) localizados sob sua maioria na região do Litoral.

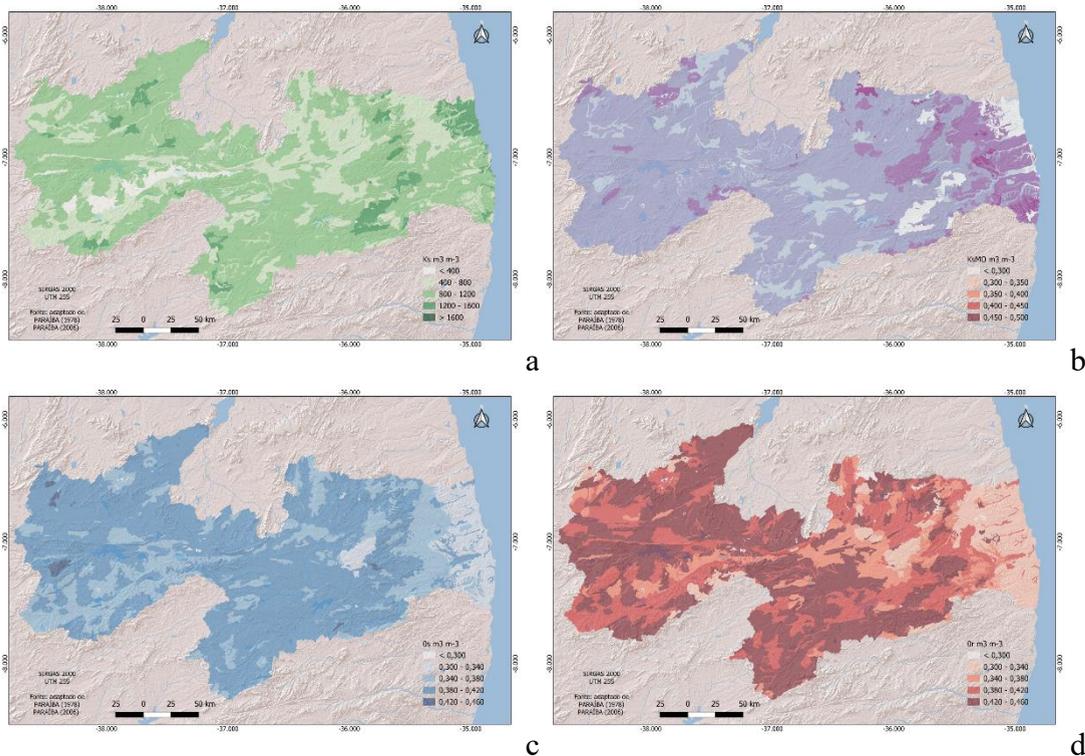


Figura 1. a)  $K_s$  - Condutividade hidráulica do solo saturado; b)  $\ln(K_s)$  - Condutividade hidráulica do solo saturado com presença de matéria orgânica; c)  $\Theta_s$  - Umidade de saturação dos solos; d)  $\Theta_r$  - Umidade de saturação residual do solo.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); IBGE (2021); ESRI (2023).

## CONCLUSÕES

O uso da técnica de pedotransferência proporcionou resultados satisfatórios aliado ao uso das geotecnologias. A condutividade hidráulica saturada apresentou-se predominantemente na classe média à baixa promovida pelas características da textura arenosa dos solos. Os maiores valores de condutividade hidráulica saturada com presença de matéria orgânica apresentaram-se em sua maioria na região do Litoral e Agreste onde não ocorre o clima semiárido. A ocorrência da umidade de saturação apresentou concordância com as características de textura dos solos definindo faixas de mapeamento representativas. A umidade de saturação residual da classe Alta foi influenciada pelos maiores teores de argila na composição dos solos.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, A. H. C.; LIER Q. J. V.; MAIA, A. H. N.; SCARPARE, F. V. Pedotransfer functions to estimate water retention parameters of soils in northeastern. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.379-391, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia 8). Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento pedológico detalhado (Escala 1:5.000) e estoque de carbono orgânico do solo da Floresta Nacional Restinga de Cabedelo, municípios Cabedelo e João Pessoa, PB**. (Org). Coelho, M. R. et al. Rio de Janeiro, 2017. 122p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos).
- ESRI. **Mapa Topográfico Mundial**. Disponível em: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: junho de 2023.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties. **Geoderma**, v.107, p.55-70, 2002.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; BRISTOW, K. L. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. **Geoderma**, v.93, p.225-253, 1999.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. **Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba**. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda., 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas**. Brasília, 2006. 112p.
- RODRIGUES, L. N.; MAIA, A. DE H. N. Funções de pedotransferência para estimar a condutividade hidráulica saturada e as umidades de saturação e residual do solo em uma bacia hidrográfica do Cerrado. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 19, 2011, Maceió. Anais...Maceió, 2011.
- WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A. A.; RAWLS, W. J. Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. **Journal of Hydrology**, v.251, p.123-150, 2001.
- WÖSTEN, J. H. M.; VAN GENUCHTEN, M. T. H. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1762-1770, 1988.