

ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DOS SOLOS POR FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

GABRIEL BORGES DOS SANTOS¹; DANIELLE BRESSIANI²; LUÍS CARLOS
TIMM³

¹*Universidade Federal de Pelotas – gabrielqwsantos@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – daniebressiani@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – lcattimm@yahoo.com.br*

1. INTRODUÇÃO

A determinação da condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) é necessária em muitas pesquisas e aplicações relacionadas à irrigação, drenagem, movimentação de água e de solutos no solo, e balanço hídrico (ZHANG; SCHAAP, 2019). Embora muitos avanços sejam feitos para medições diretas da K_{sat} , tais medições, tanto no campo quanto em laboratório, além de trabalhosas, são demoradas e caras (VEREECKEN et al., 2010). Assim, surgem os modelos matemáticos como, por exemplo, as funções de pedotransferência (FPTs), para estimar a K_{sat} a partir de outros atributos físicos do solo, de mais fácil obtenção, ou seja, uma alternativa indireta de prever a K_{sat} a partir das propriedades básicas do solo mais facilmente ou prontamente disponíveis (SHWETHA; PRASANNA, 2018).

O clima é reconhecido como um dos principais motores da formação do solo (FUENTES-GUEVARA et al., 2022). Apesar de muitos estudos terem avaliado o desempenho de diferentes FPTs na estimativa da K_{sat} , poucos avaliaram o desempenho de FPTs desenvolvidas sob os mais diversos climas. Além de que há poucos estudos para estimar K_{sat} , e que tenham desenvolvido FPTs, para condições climáticas subtropicais.

Portanto, o principal objetivo deste estudo foi comparar o desempenho de dez FPTs, frequentemente aplicadas na literatura e desenvolvidas para solos de diversos climas, na estimativa da K_{sat} em clima subtropical, para tanto foi utilizado um banco de dados de solos coletados no sul do estado do Rio Grande do Sul (RS). Ou seja, este estudo permitirá avaliar se modelos da literatura, criados a partir de dados amostrados em solos com grande diversidade pedoclimática, são capazes de estimar com precisão a K_{sat} de solos subtropicais.

2. METODOLOGIA

O banco de dados de solos foi compilado a partir da junção de um conjunto de dados de três bacias hidrográficas localizadas no sul do RS: Bacia hidrográfica de Sanga Ellert (BHSE), Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP) e Bacia Hidrográfica do Arroio Fragata (BHAf). O banco é composto por 369 amostras de solo compostas pelos seguintes parâmetros: K_{sat} , frações de argila, silte, areia, densidade do solo, porosidade efetiva e teor de matéria orgânica. Destaca-se que tais bacias estão sob influência do clima subtropical úmido (Cfa), que conforme classificação de Köppen-Geiger se caracteriza por possuir uma regularidade na distribuição anual da pluviosidade, abrangendo áreas que têm pelo menos oito meses do ano com temperaturas médias acima de 10°C (FAO, 2012).

Para a escolha das FPTs disponíveis para estimar a K_{sat} foi feito uma vasta busca na literatura. Tais FPTs foram escolhidas com base nos seguintes critérios:
- Conforme os dados de entrada (restringiu-se a FPTs com entradas iguais aos parâmetros disponíveis no banco de dados); - De acordo com a localização de

origem dos dados de solos utilizados nas calibrações das FPTs, visando abranger diversos tipos de climas. Dez funções foram selecionadas e se encontram descritas na Tabela 1.

Tabela 1: FPTs selecionadas na literatura.

ID	Referencia	Dados de entrada*	País	Clima**
FPT ₁	COSBY et al. (1984)	ARE e ARG	USA	Subtropical, Continental e Semiárido.
FPT ₂	VEREECKEN et al. (1990)	ARE, ARG, MO e Ds	Bélgica	Temperado
FPT ₃	TOMASELLA; HODNETT (1997)	PE	Brasil	Tropical
FPT ₄	WÖSTEN et al. (1999)	SIL, ARG, Ds e MO	Europa	Temperado e Continental
FPT ₅	MINASNY; MCBRATNEY (2000)	PE	Austrália	Árido e Semiárido
FPT ₆	JULIÀ et al. (2004)	ARE	Espanha	Semiárido e Temperado
FPT ₇	ARSHAD et al. (2013)	ARE, SIL, ARG e Ds	Irã	Árido e Semiárido
FPT ₈	QIAO et al (2018)	Ds e ARE	China	Continental e Semiárido
FPT ₉	SHWETHA; PRASANNA (2018)	SIL, MO e Ds	Índia	Tropical e Semiárido
FPT ₁₀	OTONNI et al. (2019)	SIL e ARG	Brasil e Europa	Tropical e Temperado

*Dados de entrada: ARE: Areia (%); ARG: Argila (%); SIL: Silte (%); PE: Porosidade Efetiva ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); MO: Matéria Orgânica (%); Ds: Densidade do solo (g cm^{-3}). **Clima conforme a classificação de Köppen-Geiger (BECK et al., 2018).

A performance das FPTs selecionadas na literatura foi avaliada por meio de três índices estatísticos: Coeficiente de Determinação (R^2) - é uma medida da qualidade do ajuste obtido entre os valores observados e estimados; Erro Médio (ME) - fornece uma medida de viés que indica a diferença média entre os valores observados em campo e estimados; Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) - indica o quanto próximo o modelo prevê em relação aos valores observados em campo. De regra geral, modelos com bom desempenho apresentam R^2 próximos a 1, e baixos valores de ME e RMSE (melhor desempenho próximos a 0).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados dos índices estatísticos utilizados para avaliar o desempenho das dez funções selecionadas para estimar a Ksat. Ao observar a Tabela 2 o melhor desempenho do R^2 é da FPT₄ (0,34), seguido pela FPT₅ (0,28) e FPT₆ (0,23). Contudo, pode-se dizer que nenhuma das funções obteve um bom desempenho, ou seja, as funções obtiveram uma fraca relação entre os valores observados e estimados de Ksat (RUEZZENE et al., 2021).

Já sobre o ME e RMSE as funções com melhor desempenho foram a FPT₃ (-25,63 e 64,63, respectivamente) e FPT₅ (-24,38 e 62,65, respectivamente), conforme Tabela 2. Pode-se observar que, todas FPTs apresentaram elevados valores de RMSE, indicando que os valores de Ksat estimados pelas FPTs testadas obtiveram um grande afastamento dos valores de Ksat observados em campo (TRIPATHI et al., 2015). Os valores de ME indicam que houve grande diferença média entre os valores de Ksat observados e estimados em todas as FPTs, sendo que todas subestimaram os valores observados, evidenciado pelos valores discrepantes negativos do ME (TRIPATHI et al., 2015).

Tabela 2: Desempenho das FPTs selecionadas na literatura.

ID	R ²	ME (cm h ⁻¹)	RMSE (cm h ⁻¹)
FPT ₁	0,15	-44,84	80,51
FPT ₂	0,08	-44,80	79,47
FPT ₃	0,23	-25,63	64,63
FPT ₄	0,34	-43,49	79,08
FPT ₅	0,28	-24,38	62,65
FPT ₆	0,14	-45,40	80,88
FPT ₇	0,0034	-43,26	80,65
FPT ₈	0,16	-44,50	79,95
FPT ₉	0,000036	-29,77	75,38
FPT ₁₀	0,16	-45,02	80,83

De modo geral, os valores de ME e RMSE para todas as FPTs testadas foram altos, assim como os valores de R² foram baixos, demonstrando a incapacidade de estimativa da Ksat pelos modelos. Com isso, pode-se concluir que a extração da aplicação de FPTs já desenvolvidas para regiões com condições climáticas diferentes leva a baixos desempenhos na estimativa de Ksat em clima subtropical úmido.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados deste estudo fica evidente que a utilização e generalização de FPTs criadas para estimar a Ksat usando conjuntos de dados de solo que possuem características diferentes do que se está avaliando não é adequado. Com isso, este estudo preenche a lacuna entre a disponibilidade de um grande número de funções de pedotransferência na literatura e a adequação dessas funções para aplicação na previsão da condutividade hidráulica saturada em solos subtropicais, evidenciando a necessidade de construção de novas FPTs para a região sul do estado do RS, em clima subtropical úmido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSHAD, R. R.; SAYYAD, G.; MOSADDEGHI, M.; GHARABAGHI, B. Predicting Saturated Hydraulic Conductivity by Artificial Intelligence and Regression Models. **ISRN Soil Science**, v.2013, p.1-8, 2013.

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E.F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Nature Scientific Data**, v.5, n.180214, 2018.

COSBY, B. J.; HORNBERGER, G. M.; CLAPP, R. B., GINN, T. R. A statistical exploration of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. **Water Resources Research**, v.20, n.6, p.682-690, 1984.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. **Global ecological zones for FAO forest reporting**: 2010 update. FAO Forestry Paper 179. Rome, Italy: FAO.

FUENTES-GUEVARA, M.D., ARMANDO, R.A., TIMM, L.C., NEMES, A. Data correlation structure controls pedotransfer function performance. **Journal of Hydrology**, v. 614, n. 128540, 2022.



JULIÀ, M. F.; MONREAL, T. E.; JIMÉNEZ, A. S. C.; MELÉNDEZ, E. G. Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction. **Geoderma**, v.123, n.3-4, p.257–277, 2004.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Evaluation and development of hydraulic conductivity pedotransfer functions for Australian soil. **Soil Research**, v.38, n.4, p.905-926, 2000.

OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T. B.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C.; ROTUNNO FILHO, O. C. Pedotransfer functions for saturated hydraulic conductivity using a database with temperate and tropical climate soils. **Journal of Hydrology**, v.575, p.1345-1358. 2019.

QIAO, J.; ZHU, Y.; JIA, X.; HUANG, L.; SHAO, M. Development of pedotransfer functions for soil hydraulic properties in the critical zone on the Loess Plateau, China. **Hydrological Processes**, v.32, n.18, p.2915-2921, 2018.

RUEZZENE, C. B.; MIRANDA, R. B.; TECH, A. R. B.; MAUAD, F. F. Preenchimento de falhas em dados de precipitação através de métodos tradicionais e por inteligência artificial. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.29, p.179-204, 2021.

SHWETHA, P.; PRASANNA, K. Pedotransfer Functions for the Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity for Some Indian Sandy Soils. **Eurasian Soil Science**, v.51, n.9, p.1042–1049, 2018.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Estimating unsaturated hydraulic conductivity of Brazilian soils using soil-water retention data. **Soil Science**, v.162, p.703-712, 1997.

TRIPATHI, R.; NAYAK, A. K.; SHAHID, M.; RAJA, R.; PANDA, B. B.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; LAL, B.; GAUTAM, P.; SAHOO, R. N. Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected coastal India using geostatistics and kriging. **Arabian Journal of Geosciences**, v.8, n.12, p.10693-10703, 2015.

VEREECKEN, H.; MAES, J.; FEYEN, J. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. **Soil Science**, v.149, n.1, p.1-12, 1990.

VEREECKEN, H.; WEYNANTS, M.; JAVAUX, M.; PACHEPSKY, Y.; SCHAAP, M. G.; VAN GENUCHTEN, M. T. Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten-Mualem soil hydraulic properties: A review. **Vadose Zone Journal**, v.9, p.795-820, 2010.

WÖSTEN, J. H.; LILLY, A.; NEMES, A.; LE BAS, C. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v.90, n.3-4, p.169-185, 1999.

ZHANG, Y.; SCHAAP, M. G. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. **Journal of Hydrology**, v.575, p.1011-1030, 2019.