



Estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado em Latossolos: Abordagem com modelos globais

Estimation of hydraulic conductivity of saturated soil oxisols: Approach with global models

Isadora de Castro Mayer

Tecnóloga em Saneamento Ambiental

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Câmpus Pelotas-RS

Email: isadoracmayer@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5351-6931>

Luana Nunes Centeno

Doutora em Recursos Hídricos na Universidade Federal de Pelotas-RS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Câmpus Pelotas-RS

Email: luananunescenteno@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9398-9863>

Samanta Tolentino Ceconello

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Câmpus Pelotas-RS

Email: samantaceconello@ifsul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5903-6241>

Julia Celestino Luçardo

Universidade Federal de Pelotas-RS

Email: lucardojulia@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9470-0128>

RESUMO - A crescente demanda por água potável tem impulsionado estudos sobre a compreensão e gerenciamento dos aquíferos, que são camadas subterrâneas responsáveis pelo armazenamento e fluxo de água. Nesse contexto, é relevante considerar os Latossolos, solos tropicais altamente intemperizados e lixiviados, que têm sido objeto de estudos sobre a influência do solo na recarga dos aquíferos. A recarga pode ser compreendida através da condutividade hidráulica de solo saturado (K_{sat}), uma medida fundamental da capacidade de transmissão de água pelo solo. Diante dessa necessidade, o presente estudo buscou estimar a K_{sat} em Latossolos utilizando modelos globais, empregando dados de 48 perfis de solo coletados em várias regiões do Brasil. Sete atributos do horizonte B dos Latossolos foram selecionados a partir desses perfis, considerando ausência de falhas amostrais. Esses atributos incluem a condutividade hidráulica do solo saturado, teor de argila, teor de silte, densidade do solo, porosidade total, carbono orgânico e elevação. Os dados foram submetidos a análises descritivas e, em seguida, foram aplicados modelos globais, onde identificou-se que a argila é o atributo que melhor explica a K_{sat} , quando considerado isoladamente. No entanto, a melhor explicação global foi obtida ao combinar



a argila, a densidade do solo e o silte, que juntos explicaram 94,1% da variação da Ksat. Por fim, ressalta-se que a Ksat desempenha um papel crucial na recarga dos aquíferos, sendo que a mensuração precisa desse atributo pode contribuir para a compreensão da disponibilidade de água e para o gerenciamento hídrico em regiões tropicais e subtropicais com Latossolos.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Regressões lineares. Ksat. Recarga de Aquíferos.

ABSTRACT - The growing demand for drinking water has driven studies on the understanding and management of aquifers, which are underground layers responsible for the storage and flow of water. In this context, it is relevant to consider Oxisols, highly weathered and leached tropical soils, which have been the subject of studies on the influence of soil on aquifer recharge. Recharge can be understood through the saturated soil hydraulic conductivity (Ksat), a fundamental measure of the water transmission capacity of the soil. Faced with this need, the present study sought to estimate Ksat in Oxisols using global models, using data from 48 soil profiles collected in various regions of Brazil. Seven attributes of the B horizon of Oxisols were selected from these profiles, considering the absence of sampling failures. These attributes include saturated soil hydraulic conductivity, clay content, silt content, soil density, total porosity, organic carbon and elevation. The data were submitted to descriptive analysis and then global models were applied to estimate the hydraulic conductivity of the saturated soil, where it was identified that clay is the attribute that best explains Ksat, when considered in isolation. However, the best overall explanation was obtained by combining clay and soil density, which together explained 91,4% of the variation in Ksat. Finally, it is emphasized that Ksat plays a crucial role in aquifer recharge. Therefore, the precise measurement of this attribute can contribute to the understanding of water availability and water management in tropical and subtropical regions with Oxisols.

Keywords: Water resources. Linear regressions. Ksat; Aquifer recharge.

INTRODUÇÃO

A problemática relacionada à influência dos solos na recarga de aquíferos em regiões com solos tropicais, altamente intemperizados e lixiviados, como os Latossolos, tem sido amplamente estudada (Sousa; Martins, 2023). Esses estudos são de extrema importância, uma vez que a recarga de aquíferos desempenha um papel fundamental na disponibilidade de água subterrânea, a qual é a principal fonte de água potável para muitas comunidades (Vargas *et al.*, 2023; Gouveia *et al.*, 2023). A condutividade hidráulica de solo saturado (Ksat) é um parâmetro hidrológico essencial para compreender a capacidade dos solos em transmitir água (Aguiar, 2023; Melo, 2018) que influencia diretamente na recarga de aquíferos (Vieira *et al.*, 2025), porém apresenta grande variabilidade espacial (Ottoni *et al.*, 2024).

Os Latossolos são solos com elevado grau de intemperismo, muito profundos e com perfil homogêneo (Embrapa, 2023). Geralmente, são chamados de “solos velhos”, porém, na verdade são solos que estiveram sob a ação de altas temperaturas e elevada precipitação, com boa drenagem ao longo dos anos (Chang, 2022). Possuem ampla distribuição geográfica em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo (Marcolin; Calegari, 2020), abrangendo aproximadamente 8% da superfície terrestre (Embrapa, 2023). No Brasil, esses solos ocupam cerca de 21% do território (Ramalho; Guerra, 2017). São caracterizados por serem solos profundos, possuírem minerais pouco resistentes ao intemperismo, baixa fertilidade natural, reduzida capacidade de troca catiônica e alta retenção de fósforo por minerais óxidos (Santos *et al.*, 2018). Porém, apesar da baixa fertilidade natural, os Latossolos podem ser altamente produtivos com o uso de calcário e fertilizante (Bottrel, 2023).



O manejo inadequado desses solos, como a agricultura intensiva sem práticas conservacionistas pode resultar em problemas ambientais, como a erosão do solo (Santos, 2022). Por outro lado, esses solos se caracterizam pela baixa capacidade de retenção de água, mesmo sendo composto por teores elevados de argila, o que pode afetar de forma positiva a recarga dos aquíferos (Oliveira, 2022), visto que a porosidade, bem como a alta taxa de infiltração, permite que a água atinja camadas mais profundas antes de ser completamente absorvida pela vegetação (Santos, 2022).

Dessa forma, compreender as características particulares dos Latossolos torna-se importante, pois elas podem influenciar diretamente na produtividade agrícola e na disponibilidade de água subterrânea (Jonge, 2022). Conhecer os atributos do solo como tipo, textura, estrutura, cobertura vegetal e topografia, bem como sua influência na recarga de aquíferos torna-se crucial para uma gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos (Rauber *et al.*, 2024; Bastos, 2023).

O uso de ferramentas estatísticas, como os modelos globais de regressão linear, permite estabelecer relações espaço-temporais entre os atributos de interesse. Estes modelos buscam explicar uma variável resposta através da associação de fatores entre variáveis cujos resultados são conhecidos (Luçardo; Centeno; Cecconello, 2024). Portanto, o objetivo deste estudo foi estimar a condutividade hidráulica de solo saturado em Latossolos por meio de modelos globais, com o intuito de fornecer informações iniciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

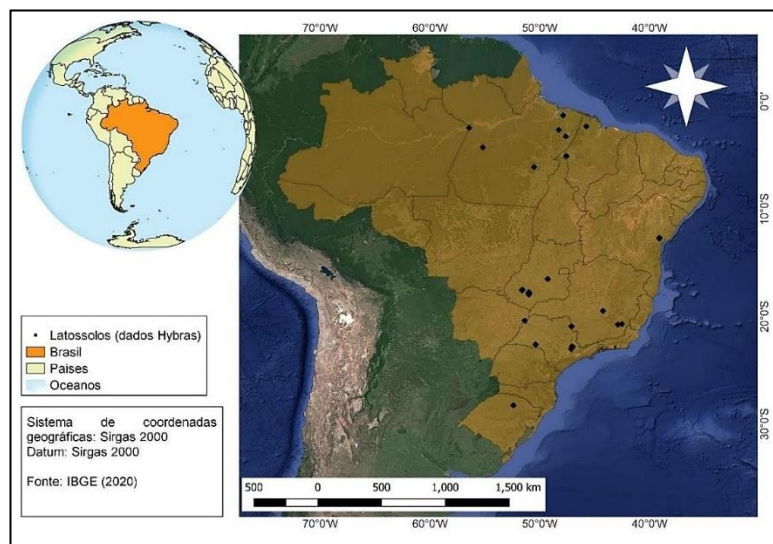
MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área e obtenção de dados

Foi realizado um estudo utilizando dados de 48 perfis de Latossolos, coletados em diferentes regiões do Brasil, a partir do banco de dados HYBRAS (*Hydrophysical database for Brazilian soils*), que reúne informações hidrofísicas de solos brasileiros, fornecendo dados sobre a curva de retenção de água, condutividade hidráulica do solo saturado, e outras propriedades fundamentais do solo (Ottoni *et al.*, 2018).

A Figura 1 apresenta a localização espacial dos perfis de solo selecionados para este estudo, fornecendo uma visão geográfica, permitindo identificar as diferentes regiões do Brasil onde foram coletados.

Figura 1: Localização dos perfis de solo utilizados neste estudo.



Fonte: Autores (2025)



Deste banco de dados foram escolhidos sete atributos que não apresentaram falhas amostrais nas informações para o horizonte B das classes de Latossolos, sendo estes: condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat), argila, silte, densidade do solo (DS), porosidade total (PT), carbono orgânico (CO) e elevação (Elev). Estes dados brutos foram utilizados por Mayer, Cecconelo e Centeno (2023) em um estudo semelhante.

Estatística descritiva

Os dados foram submetidos a estatística clássica para a obtenção de medidas de posição, de dispersão e de forma, além do teste de aderência de Shapiro-Wilks, a fim de verificar a normalidade de cada conjunto de dados. Todos os procedimentos foram realizados em planilha eletrônica do EXCEL®.

Modelos globais

Para a geração dos cenários foram empregados modelos globais simples e múltiplos, abrangendo todas as combinações e dimensões aceitáveis baseadas em atributos existentes, de forma a chegar aos melhores cenários. Utilizou-se o logaritmo natural da Ksat (lnKsat) como atributo dependente, por ser essencial para evidenciar a dificuldade ou facilidade com que a água se move no perfil do solo.

Já os atributos independentes foram os que apresentaram o menor número de falhas amostrais, para auxiliar na predição dos modelos globais gerados. Para analisar o ajuste dos modelos gerados foi empregado o coeficiente de determinação R^2 , sendo que quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 , melhor será o ajuste do modelo.

Além disso, para validar os melhores modelos, foi feita a análise visual do gráfico de plotagem dos resíduos. Ressalta-se que todos os procedimentos estatísticos foram efetuados em planilha eletrônica do EXCEL®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos dados pertencentes a classe dos Latossolos está apresentada na Tabela 1. Os dados apresentaram medidas de tendência central, como média, mediana, além de outras medidas como desvio padrão, coeficiente de variação e teste de normalidade.

Tabela 1: Análise estatística descritiva dos dados pertencentes aos Latossolos.

Métricas	Argila (%)	Silte (%)	ln(Ksat) (cm.d ⁻¹)	DS (g.cm ⁻³)	PT (cm ³ .cm ⁻³)	CO (%)	Elev (m)
Média	50,20	13,46	-0,91	1,29	0,51	1,18	654,60
Mediana	50,00	12,04	-1,01	1,31	0,50	0,70	823,00
Desvio Padrão	18,88	7,40	0,164	0,24	0,10	1,16	270,05
Coeficiente de Variação	37,61	55,00	2,70	18,77	20,63	98,64	41,25
Mínimo	13,00	1,00	-1,03	0,45	0,29	0,11	220,00
Máximo	96,00	49,12	-0,18	1,77	0,83	5,65	1.350,0

Ksat= Condutividade Hidráulica de Solo Saturado; Ds= Densidade do Solo; PT= Porosidade Total;

CO= Carbono Orgânico; Elev= Elevação. **Fonte:** Autores (2025)



A média das frações texturais do solo foi de 50,2% de argila, 13,46% de silte e 36,34% de areia, evidenciando a predominância da argila nos perfis estudados, característica típica dos Latossolos (COSME, 2023). No entanto, o coeficiente de variação e os valores extremos da argila indicam variações no potencial de retenção de água e na taxa de infiltração (Sampaio, 2013).

Quanto à compactação, a densidade do solo (Ds) teve média de $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$, com valores variando de $0,45$ a $1,77 \text{ g.cm}^{-3}$, refletindo diferentes graus de compactação nos perfis (Carmo et al., 2018; Rodrigues, 2022; Santos et al., 2018). Densidades mais altas indicam maior compactação, o que pode prejudicar a infiltração de água, a penetração de raízes e a aeração do solo, comprometendo a produtividade agrícola (Gubiani; Reinert; Reichert, 2023).

A matéria orgânica, representada pelo carbono orgânico (CO), apresentou média de 1,18%, indicando presença significativa nos Latossolos. Contudo, o alto coeficiente de variação (98,64%) revela grande heterogeneidade (Silva et al., 2021). Níveis elevados de CO são desejáveis por influenciarem positivamente a retenção de água e nutrientes e a estrutura do solo (Nahon, 2023).

A porosidade total (PT) teve média de $0,512 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, com a menor amplitude e variação entre os atributos, indicando relativa uniformidade ao longo dos perfis. A elevação média foi de 654,60 m, variando de 220,00 a 1.350,00m, sugerindo que os Latossolos ocorrem em diferentes altitudes, o que pode afetar o clima, a drenagem e a disponibilidade de nutrientes (Pereira, 2019).

Estimativa da Condutividade Hidráulica

A Tabela 2 apresenta os melhores cenários gerados para a estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado ($\ln K_{sat}$), com base no coeficiente de determinação (R^2). O R^2 demonstrou que os atributos do solo utilizados contribuíram significativamente para explicar a variação da K_{sat} . No cenário com apenas um atributo, a argila explicou 84,9% da variação, evidenciando sua influência sobre a estrutura, porosidade e retenção de água do solo, o que favorece o transporte de água quando o solo está saturado (Ribeiro, 2021). Entretanto, apesar de apresentar um resultado satisfatório, o cenário contendo apenas 1 variável foi o que apresentou os menores valores de R^2 , quando comparado aos demais.

Nesse sentido, percebe-se que outros fatores afetam significativamente a K_{sat} . Isso é observado nos cenários 2 e 3, com o aumento do R^2 . A partir do cenário 4, não houve aumento significativo nos valores de R^2 .

Tabela 1: Melhores cenários para os Modelos Globais utilizados na estimativa da K_{sat} através de atributos do solo

Cenário 1: 1 atributo	R^2
$\ln(K_{sat}) = -1,375 * \text{Argila}$	0,849
Cenário 2: 2 atributos	R^2
$\ln(K_{sat}) = -0,986 * \text{Argila} - 0,684 * \text{DS}$	0,914
Cenário 3: 3 atributos	R^2
$\ln(K_{sat}) = -0,589 * \text{Argila} - 0,607 * \text{DS} - 0,591 * \text{Silte}$	0,941
Cenário 4: 4 atributos	R^2
$\ln(K_{sat}) = -0,607 * \text{Argila} - 0,596 * \text{DS} - 0,607 * \text{Silte} + 0,033 * \text{PT}$	0,941
Cenário 5: 5 atributos	R^2
$\ln(K_{sat}) = -0,485 * \text{Argila} - 0,617 * \text{DS} - 0,516 * \text{Silte} + 0,0425 * \text{PT} - 0,365 * \text{CO}$	0,947
Cenário 6: Todos os atributos	R^2
$\ln(K_{sat}) = -0,485 * \text{Argila} - 0,617 * \text{DS} - 0,517 * \text{Silte} + 0,041 * \text{PT} - 0,365 * \text{CO} + 0,001 * \text{Elev}$	0,947

Argila; Silte; K_{sat} =Condutividade Hidráulica de Solo Saturado; DS=Densidade do Solo; PT=Porosidade Total; CO=Carbono Orgânico; Elev=Elevação.



Fonte: Autores (2025)

Ao adicionar a variável densidade do solo (DS) no cenário 2, houve um aumento de 6,5% no R^2 , e ao acrescentar a variável silte, o coeficiente de determinação aumentou significativamente para 91,4%. Esses resultados indicam que a Ksat é fortemente influenciada pela textura do solo (argila e silte) e pelo seu estado de compactação (densidade), conforme os dados avaliados (Aguiar, 2023).

O aumento do teor de argila resulta na diminuição da Ksat, isso ocorre porque solos com mais argila possuem poros menores, o que influencia diretamente no fluxo de água, tornando-o mais lento (Cavalcanti, 2023).

A densidade do solo (DS) é um indicador da compactação, ou seja, indica a quantidade de partículas sólidas presentes em um determinado volume de solo (Yakuwa, 2023), se esta for elevada, geralmente associa-se este fato a uma maior compactação, o que pode reduzir a porosidade total e a capacidade de retenção de água do solo (Cardoso *et al.*, 2023). Por outro lado, uma baixa densidade indica um solo mais desagregado e com maior porosidade total, o que facilita a infiltração e a movimentação da água (Yakuwa, 2023). Portanto, espera-se que uma menor densidade do solo esteja relacionada a uma maior Ksat, pois há mais espaços vazios para a passagem da água.

O silte também possui uma correlação negativa com a Ksat devido ao diâmetro das partículas de solo. Quanto menor for o diâmetro, mais finos serão os canais de fluxo de água, diminuindo, portanto, a Ksat (Aguiar, 2023).

Já a elevação, é um atributo que pode influenciar a drenagem do solo. Áreas mais elevadas tendem a ter uma drenagem mais eficiente, permitindo que a água seja escoada mais facilmente através do solo (Silva, 2023). Por outro lado, áreas em elevações mais baixas, podem apresentar problemas de drenagem, resultando em maior retenção de água no solo (Farias, 2020).

Assim como a elevação, a porosidade (PT) também possui uma correlação positiva com a Ksat, quanto maiores os poros, maior será a capacidade de infiltração. Porém a PT pode ser calculada diretamente a partir da densidade do solo, tornando redundante sua inclusão no modelo devido à multicolinearidade (Aguiar, 2023). Por isso, o R^2 se manteve igual nos cenários 3 e 4.

De maneira geral, todos os cenários apresentados são capazes de fornecer uma visão global da Ksat, pois todos eles apresentaram R^2 acima de 70% (Hair *et al.*, 2009).

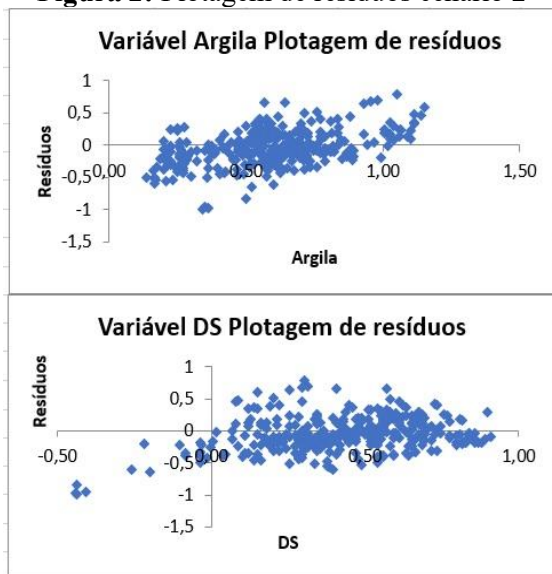
Para a escolha do melhor modelo, vale ressaltar que a utilização de um menor número de atributos é importante por diversas razões (Fernandes *et al.*, 2001). Em primeiro lugar, quando se utiliza um menor número de atributos, é possível obter uma estimativa mais simples e precisa da Ksat (Nunes, 2019), isso ocorre porque a utilização de muitos atributos pode levar a uma complexidade excessiva no modelo, aumentando as incertezas (Grisa, 2022). Além disso, para validar um modelo global, é necessário conhecer o comportamento dos resíduos, a fim de garantir a homocedasticidade (Montgomery; Peck; Vining, 2012).

Os cenários 2 e 3, apresentaram os melhores valores de R^2 , explicando 91,40 e 94,10 % da Ksat, respectivamente, considerando o menor número de atributos.

A Figura 2 exibe a análise gráfica dos resíduos do cenário 2, em função das variáveis preditoras argila e densidade do solo.

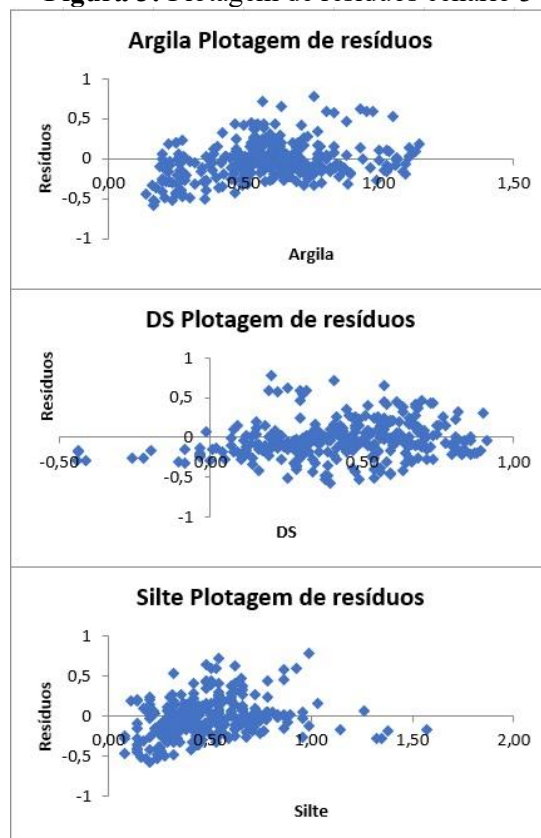


Figura 2: Plotagem de resíduos cenário 2



Fonte: Autores (2025)

Figura 3: Plotagem de resíduos cenário 3



Fonte: Autores (2025)

Em ambos os gráficos observa-se uma dispersão aleatória dos pontos, distribuídos horizontalmente em torno do eixo zero. Essa condição visual indica que a premissa da variância constante dos erros (homocedasticidade) é atendida (Montgomery; Peck; Vining, 2012).

Da mesma forma, a análise gráfica dos resíduos para o cenário 3, em função dos atributos argila, densidade do solo e silte mantém a robustez observada no cenário 2.

Ao incluir a variável silte os pontos continuam a exibir uma dispersão em forma de nuvem em torno do eixo zero, mantendo a premissa de homocedasticidade. Ou seja, os cenários 2 e 3 possuem ótimos valores R^2 e são validados pela análise gráfica de resíduos.

O aumento do R^2 não foi significativo com a inclusão do silte, bem como a análise de resíduos manteve o padrão previsto no cenário 2, corroborando com a premissa de que a interação entre a textura e compactação do solo influenciam diretamente na Ksat (Costa et al., 2024; Ottoni et al., 2020)

De acordo com Brunham e Anderson (2002), entre vários modelos plausíveis deve-se optar pelo mais simples, ou seja, aquele que utiliza o menor número de variáveis, sendo que a escolha de um modelo mais complexo se justifica somente se este contribuir de forma significativa na explicação do fenômeno.

A utilização de um menor número de atributos pode ajudar a simplificar os processos de calibração e validação do modelo (Nunes, 2019). Isso ocorre porque utilização de muitos atributos pode levar a um grande espaço de busca durante o processo de calibração, o que pode tornar o processo mais lento e difícil (Souza, 2023). Além disso, o uso de modelos baseados em atributos ambientais tem algumas vantagens (Nascimento, 2023), como por exemplo, se esses modelos forem atrelados a outras análises mais robustas, podem ser aplicados a grandes áreas, o que permite uma avaliação mais



abrangente das condições do solo. Eles também podem ser usados para prever a condutividade hidráulica do solo saturado em locais onde não há dados de campo disponíveis, o que pode ser útil em estudos de planejamento e gestão de recursos hídricos (Nascimento, 2023).

CONCLUSÕES

A análise de diferentes atributos do solo na estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado, em Latossolos, mostrou que quando analisando apenas um atributo, a argila apresentou o melhor ajuste. Já na análise multivariada, a combinação entre argila e densidade do solo é mais precisa para explicar a variação observada da Ksat, visto que a adição de mais atributos não traz ganhos significativos na precisão da estimativa, além de aumentar a complexidade dos modelos.

A validação do modelo foi confirmada a partir da análise visual dos gráficos de resíduos, que apresentou uma dispersão de dados compatível com o princípio da homocedasticidade, sendo uma ferramenta fundamental em conjunto com o coeficiente de determinação (R^2). A seleção destes atributos de fácil mensuração e com baixos investimentos é fundamental para a modelagem da Ksat.

Destaca-se que, o modelo global multivariado obtido para a estimativa da Ksat pode viabilizar a avaliação inicial da capacidade de recarga em Latossolos. Porém, apenas a avaliação inicial, já que a Ksat é um atributo que apresenta grande variabilidade espacial e temporal. Sendo assim, análises de séries temporais e espaciais robustas precisam ser aplicadas em bancos de dados mais completos e que abrangem todo o território brasileiro.

Por fim, a avaliação inicial da capacidade de recarga em Latossolos aqui realizada pode auxiliar o gerenciamento sustentável inicial dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que os especialistas podem estimar e identificar as áreas onde a recarga é mais eficiente, e assim, direcionar as práticas de manejo da água, tais como a construção de estruturas de armazenamento de água, a proteção de áreas de recarga e a implementação de técnicas de conservação do solo.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que o trabalho não possui conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

AGUIAR JÚNIOR, Ricardo Pires de. **Condutividade hidráulica e infiltração de água em solos saturados de uma topossequência no “vão” de unaí (mg): relações com outros atributos físicos e matéria orgânica**. 2023. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri., Unaí, 2023.

BASTOS, Ícaro José Fernandes Santos. **Análise da compatibilidade de mistura de solo argiloso com cinzas volantes de carvão mineral sujeita a percolação por diferentes fluidos**. 2023. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2023.

BOTTREL, Samuel Costa; *et al.* Uso da cama de frango fermentada e não fermentada na adubação de culturas agrícolas. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-13, 1 maio 2023. Research, Society and Development.



BURNHAM, Kenneth P.; ANDERSON, David R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2. ed. New York: Springer, 2002.

CHANG, Pablo. **Modelagem matemática do escoamento superficial sob o efeito da cobertura vegetal em um Latossolo argiloso**. 2022. 159 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2022.

CARDOSO Cruz dos Santos, *et al.* Comportamento físico-hídrico de uma topossequência de solos formados da alteração do arenito da Formação Adamantina na bacia hidrográfica do Rio Pirapó, Paraná, Brasil. **Geographia Opportuno Tempore**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1-14, 2023.

CARMO, Marina *et al.* Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na Amazônia Ocidental. **Agrarian Academy**, [S.L.], v. 5, n. 9, p. 154- 159, 31 jul. 2018. Centro Científico Conhecer.

EMBRAPA. **Latossolos - Portal Embrapa**. Embrapa.br. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos> . Acesso em: 13 jun. 2023.

FARIAS, Ramiro Ferreira dos Santos. Análise do comportamento hidrológico da bacia do rio Ipanema a partir da projeção de cenários modelados utilizando SWAT. 2020. 87 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - **Universidade Federal de Sergipe**, São Cristóvão, SE, 2020.

FERNANDES, N. F.; *et al.* Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Suscetíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 2, n. 1, 2001.

GOUVEIA, Enildo Luiz *et al.* Governança e Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco. **Observatorio das águas.org**, [s. l.], p. 1-11, 21 abr. 2023.

GRISA, Kleitson Telmo. **Classes de risco ambiental em propriedades rurais agroecológicas no município de Realeza-PR**. 2022. 124 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural Sustentável) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon. 2022.

GUBIANI, Paulo Ivonir; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 44, n. 6, p. 994-1000. 2023.

JONGE, Vannessa de. **Avaliação da atividade enzimática em solos quimicamente equivalentes e com diferentes produtividades**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

LUÇARDO, Júlia Celestino; CENTENO, Luana Nunes; CECCONELLO, Samanta Tolentino. Estimated dissolved oxygen in a river located in the south of Rio Grande do Sul. **Revista Gestão e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1-16, jun. 2024.

MAYER, Isadora de Castro; CECCONELO, Samanta; CENTENO, Luana. **Modelos globais aplicados a estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado em latossolos**. XXXII CIC - CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2023, Pelotas. Ufpel, 2023. p. 1-4.



MARCOLIN, Luciane; CALEGARI, Marcia Regina. Atributos químicos, físicos e mineralogia de Latossolos e sua relação com a paisagem no oeste do Paraná. **Geography Department University of São Paulo**, [S.L.], v. 39, p. 48-61, 23 jun.2020.

MELO, M. C. et al.; Determinação da função de condutividade hidráulica de um Latossolo do cerrado. Rio Paranaíba. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**, Vol. 04 N. 03 (2018).

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, G. Geoffrey. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

NAHON, Sayure Mariana Raad. **Ferramentas moleculares para avaliação da saúde do solo em sistemas agroflorestais da reserva natural Vale**. 2023. 65 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Aplicada à Agropecuária/Biotecnologia Aplicada ao Metabolismo.) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.

NASCIMENTO, Ana Livia Rodrigues. **Regressão linear múltipla na identificação defatores relacionados à demanda por serviços de compartilhamento de bicicletas**. 2023. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática) –Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2023.

NUNES, Rômulo Félix. **Funções de pedotransferência na caracterização da distribuição espacial da condutividade hidráulica do solo saturado**. 2019. 118 f.Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

OLIVEIRA, Aline da Nóbrega. **As áreas verdes nos padrões de ocupação do solourbano no Distrito Federal e seu papel na provisão de serviços ecossistêmicos hídricos**. 2022. 185 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

OTTONI, Marta Vasconcelos *et al.* Saturated hydraulic conductivity and steady-state infiltration rate database for Brazilian soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], n. 49, p. 1-38, 2025

OTTONI, Marta Vasconcelos *et al.* Hydrophysical Database for Brazilian Soils (HYBRAS) and Pedotransfer Functions for Water Retention. **Vadose Zone Journal**,[S.L.], v. 17, n. 1, p. 1-17. 2018. Wiley.

PEREIRA, Michele Fernandes. **Estudo da disponibilidade de fósforo através dosextratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen com uso de fertilizantes em argissolo e latossolo da Amazônia Central**. 2019. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

RAMALHO, Maria Francisca de Jesus Lírio; GUERRA, Antonio José Teixeira. O risco climático da seca no semiárido brasileiro. **Territorium**, [S.L.], v. 2, n. 25, p. 61-74. 2017.

RAUBER, Lucas Raimundo *et al.* Critical visual thresholds of soil structure for guidance in the management of subtropical soils. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l], v. 19, n. 4, p. 1-10, 2024.

RIBEIRO, Diego Oliveira. **Uso de cama de peru na adubação e efeito nas propriedades químicas e físicas de um latossolo vermelho distroférrico**. 2021. 66 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, Rio Verde, 2021.



RODRIGUES, Reimário de Castro. **Desempenho de cultivares de soja em diferentes classes de solo no noroeste de Minas Gerais**. 2022. 97 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina. 2022.

SAMPAIO, Jéssica Airisse Guimarães. **Disponibilidade de serviços ecossistêmicos de um sistema agroflorestal na região de Cerrado no Brasil Central**. 2013. xiv, 59 f., il. Monografia (Bacharelado em Gestão Ambiental) -Universidade de Brasília, Planaltina-DF, 2013.

SANTOS, Matheus André *et al.* Condutividade hidráulica do solo não saturado em diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, [s. l.], v. 4, p. 1-15, 2025.

SANTOS, Caroline Penha. **Sistema Agroflorestal em área degradada: subsídios para recuperação de solos em geossistemas urbanizados**. 2022. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2022.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, G. B. **A influência das dolinas na vulnerabilidade do aquífero Urucuia, Chapadão Central - oeste da Bahia, Brasil**. 2023. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.

SILVA, M. de O.; *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021.

SOUSA, Joyce Silvestre de; MARTINS, Magda Stella de Melo. Acta Ciências Ambientais do IFTM – Volume II. **Acta Ciências Ambientais do Iftm – Volume II**, [s. l.], p. 1-60, 2023.

VARGAS, Tiago de; *et al.* Mapas de zonas potenciais de recarga da água subterrânea como uma nova ferramenta para a segurança hídrica do abastecimento público. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 1-16, 2023.

VIEIRA, Clarissa Buarque *et al.* Saturated Hydraulic Conductivity of Nine Soils According to Water Quality, Soil Texture, and Clay Mineralogy. **Agronomy**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 1-22, 2025.

YAKUWA, Joberta Cardoso Pastana. **Variabilidade espacial e temporal das características térmico-hídricas do solo em cultivo da Palma de óleo no leste da Amazônia**. 2023. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.