

FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA BASEADAS EM DADOS ORBITAIS PARA A QUANTIFICAÇÃO DE ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

NORTHON MATHEUS SANTANA DE CASTRO¹, FABRÍCIO DA SILVA TERRA², ANDRÉ MEDEIROS DE ANDRADE³, INGRID HORAK TERRA⁴, HERMES SOARES DA ROCHA⁵

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí – MG, Fone: (38) 9 9836-7051, northon.castro@ufvjm.edu.br.

² Eng^o Agrícola, Prof^o Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí – MG.

³ Geografo, Prof^o Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí – MG.

⁴ Eng^a Florestal, Prof^a Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí – MG.

⁵ Eng^o Agrícola, Prof^o Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí – MG.

Apresentado no

L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: O objetivo do estudo foi desenvolver FPTs para quantificar atributos físico-hídricos do solo, utilizando parâmetros morfométricos do relevo, índices espectrais de vegetação (NDVI, ARVI, EVI, GARI, SAVI), índice topográfico de umidade e evapotranspiração real, oriundos de imagens de satélite. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Santa Paula/UFVJM, campus de Unaí (MG). Foi realizado a amostragem de 60 pontos a fim de se obter a caracterização físico-hídrica da área. Após, realizou-se o processamento de sete imagens orbitais, com as quais obtiveram-se os índices espectrais de vegetação, ainda, por meio do SRTM da área foram extraídos os parâmetros morfométricos do relevo. Um modelo linear múltiplo de 2^a ordem foi usado para a calibração das FPTs relacionando variáveis dependentes (atributos físico-hídricos) e independentes (produtos orbitais). Foi possível quantificar os atributos indicadores da qualidade física do solo com correlações de moderadas a fortes entre as variáveis (R^2 de 0,74 a 0,93). No entanto, os modelos obtidos ainda necessitam ser testados com conjunto de dados externos diferentes dos utilizados na calibração para certificação da precisão.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, Atributos físicos-hídricos, Modelagem.

PEDOTRANSFER FUNCTIONS BASED ON ORBITAL DATA FOR QUANTIFICATION OF ATTRIBUTES SUGGESTING THE PHYSICAL QUALITY OF SOIL

ABSTRACT The aim of the study was to develop FPTs to quantify soil physical and water attributes, using morphometric parameters of relief, spectral indices of vegetation (NDVI, ARVI, EVI, GARI, SAVI), topographic index of moisture and real evapotranspiration, derived from images of satellite. The study was conducted at the Experimental Farm Santa Paula/UFVJM, campus of Unaí (MG). A sampling of 60 points was carried out in order to obtain the physical-water characterization of the area. Afterwards, seven orbital images were processed, with which the spectral indices of vegetation were obtained, and the morphometric parameters of the relief were extracted through the SRTM of the area. A 2nd order multiple linear model was used to calibrate the FPTs relating dependent (physical-hydric attributes) and

independent (orbital products) variables. It was possible to quantify the attributes indicating the physical quality of the soil with moderate to strong correlations between the variables (R^2 from 0.74 to 0.93). However, the models obtained still need to be tested with external data sets different from those used in calibration for accuracy certification.

KEYWORDS: Remote Sensing, Physical-Water Attributes, Modeling.

INTRODUÇÃO: A qualidade física dos solos agrícolas comporta-se como um conjunto complexo entre os atributos físico-hídricos que se correlacionam entre si. Em outras palavras, a boa qualidade do solo está diretamente ligada à dinâmica que existe entre esses atributos, tais como a umidade gravimétrica (UG), umidade volumétrica (UV), densidade do solo (Ds) e de partícula (Dp), porosidade total (α) e resistência à penetração (RP), os quais caracterizam a qualidade física do solo. A realização de estudos visando quantificar e qualificar o solo bem como os seus atributos de maneira não laboriosa, vem crescendo no Brasil, onde o desenvolvimento de funções de pedotransferência (FPTs) auxilia na quantificação destes atributos indicadores da qualidade física do solo. Tais funções, quando desenvolvidas com produtos obtidos do sensoriamento remoto, como os índices espectrais de vegetação (IV), o índice topográfico e umidade (TWI), a evapotranspiração real (ETA) e os parâmetros morfométricos do relevo (PMR) (GROHMANN et. al, 2008) apresentam correlações significativas na mensuração dos atributos supracitados. Sendo assim, visando a monitoramento dos atributos do solo para aplicação de técnicas adequadas de manejo e uso de forma a mantê-lo preservado evitando o seu esgotamento, o presente estudo objetivou o desenvolvimento de FPTs baseadas em regressões lineares múltiplas utilizando IV, PMR, TWI e a ETA oriundos de imagens de satélite, para a quantificação dos atributos físico-hídricos do solo (UG, UV, Ds, Dp, α e RP).

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental Santa Paula (FESP), latitudes $-16,45^\circ$ e $-16,43^\circ$ e longitudes $-46,91^\circ$ e $-46,89^\circ$ (datum WGS 84). A FESP pertence ao Instituto de Ciências Agrárias da UFVJM, campus Unaí, e possui uma área de 150 ha, apresentando relevo de plano a suave ondulado/ondulado, 621 metros de altitude e declividades entre 0,82-16%. Os solos da área de estudo distribuem-se entre: Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo Vermelho, Neossolo Litólico, Cambissolo Háplico, Plintossolo Pétrico, Plintossolo Háplico, Gleissolo Melânico e Gleissolo Háplico. A metodologia adotada no estudo, consistiu na amostragem de 60 pontos, a 20 centímetros de profundidade, distribuídos na tentativa de representar as diferentes classes de solos e os diferentes comportamentos dos atributos morfométricos do relevo que ocorrem na área. Os pontos foram amostrados e analisados conforme descrito por Embrapa (2017), com objetivo de quantificar a UG, UV, DS, DP e α , ainda se analisou a RP conforme descrito por Stolf (1991). Todos os pontos amostrados foram georreferenciados. Os IVs utilizados foram: NDVI, EVI, ARVI, GARI, SAVI (com L de 0.5 e 1.0) (SHIRATSUCHI et. al, 2014), os quais foram obtidos e calculados no software QGIS 3.4. Para tanto, fez-se o uso de sete cenas orbitais obtidas por meio da plataforma do Planet Scope nos dias 02/11/2018, 26/11/2018, 05/04/2019, 12/04/2019, 26/04/2019, 19/09/2019 e 03/10/2019, que foram coincidentes com os dias de amostragem no campo. Ainda, os PMR utilizados foram: altitude, declividade, aspecto, rugosidade e sombreamento, extraídos a partir da imagem SRTM com resolução espacial de 30 metros. Por meio desta imagem, também foi calculado o índice topográfico de umidade (TWI) para cada ponto amostrado. Para os valores de evapotranspiração real (ETA), utilizou-se a plataforma web da SSEBop BR (<https://ssebop.users.earthengine.app/view/ssebop-br>), disponibilizada pela Agência Nacional de Águas em parceria com o Serviço Geológico dos Estados Unidos. A ETA é uma variável importante por indicar a permanência e retenção da

água no solo. A análise estatística descritiva (mínimo, amplitude, máximo, média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação e a correlação) foi realizada sobre os dados, a fim de compreender quais IVs e PMRs mais bem correlacionam-se com os atributos do solo e também inferir as possíveis variáveis para as FPTs. Para realizar a calibração das FPTs, regressões lineares múltiplas de 2ª ordem foram desenvolvidas utilizando o software R, considerando como valores das variáveis independentes (IV, ETA, TWI e PMR) aqueles que apresentaram as melhores correlações com os valores das variáveis dependentes (UG, UV, Ds, Dp, α e RP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A distribuição dos atributos na área de estudo, apresentaram variações significativas. A UG apresentou uma média de $0,25 \text{ g g}^{-1}$, com variação de valores entre $0,11 \text{ g g}^{-1}$ a $0,90 \text{ g g}^{-1}$, ainda com desvio padrão de $0,14 \text{ g g}^{-1}$. Já, a UV apresentou uma média de valores de 31,22% com um coeficiente de variação de 31,99%. Estas variações podem ser justificadas, entre outros fatores, devido à posição das amostras coletadas em relação ao relevo e à classe de solo. Para a Ds, o valor médio encontrado foi de $1,34 \text{ g cm}^{-3}$, apresentando valores de máximo e mínimo de $1,67 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,76 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente, e desvio padrão de $0,1947 \text{ g cm}^{-3}$, com variância de $0,04 \text{ g cm}^{-3}$ e coeficiente de variação de 14,57%. A Dp apresentou uma variação de valores de $2,15 \text{ g cm}^{-3}$ a $2,77 \text{ g cm}^{-3}$, desvio padrão de $0,11 \text{ g cm}^{-3}$, variância de $0,01 \text{ g cm}^{-3}$ e coeficiente de variação de 4,50%. Os valores de Ds e Dp encontrados sugerem que a área de estudo apresenta características de solos mais desenvolvidos em níveis de intemperismos já avançados. A α indicou uma variação média de 47,60% com desvio padrão 7,31% e coeficiente de variação de 15,37%. As amostras que apresentaram valores mais altos de Ds apresentaram também os menores valores de α e, conseqüentemente, baixa umidade no solo. De forma análoga, solos com menores valores de densidade apresentaram maiores valores na porosidade, ou seja, possuem uma melhor distribuição do espaço poroso na matriz do solo, e os mais elevados valores de umidade na base de volume. Quanto à RP, os valores variaram de 1,60 MPa a 17,51 MPa, com desvio padrão de 4,37 MPa e variância de 19,12 MPa. Pode-se observar que os solos que apresentaram maiores valores de Ds resistiram mais a penetração. A análise de correlação entre as variáveis dependentes, indicou que a UG e a α possuem dependência direta, uma vez que a água presente no solo depende exclusivamente da quantidade de poros vazios no solo, e ainda, a porosidade apresentou relação inversa a Ds, inferindo assim que quanto maior a Ds menor é a porosidade e maior será a RP. A distribuição dos valores dos IV em termos médios foram de 0,523; 0,43; 1,45; 0,39; 0,80; 1,07 para o NDVI, ARVI, EVI, GARI, SAVI (L=0.5), SAVI (L=1.0), respectivamente. No entanto, ao se correlacionar os IV as variáveis dependentes, foi observado que o EVI, GARI e o SAVI (L=1.0) apresentaram as maiores correlações, sendo assim fortes candidatos as calibrações das FPTs. Já os PMRs e o TWI de forma geral, apresentaram melhores correlações com os valores de umidade (UG e UV) isso porque estão intimamente relacionados à declividade, tendo em vista que relevos de maior inclinação tendem a ter mais canais de drenagem que configuram maior rugosidade superficial ao terreno. Eventualmente, o aspecto (orientação da vertente) e sombreamento da superfície apresentaram correlações de maiores valores com as umidades. Para a geração dos modelos de regressão linear múltipla, os dados das variáveis dependentes passaram por normalização, sendo que a UV, UG, α e RP foram logaritmizadas, a Ds passou por uma normalização exponencial e para a Dp foi utilizada a potência na base 10, conforme mostra na Tabela 01. Os valores das variáveis independentes também receberam normalização, sendo que o sombreamento, rugosidade, declividade e a altitude foram logaritmizados, o SAVI (L=1.0) passou por uma normalização exponencial e para o GARI utilizou-se a base 10, as variáveis de calibração aspecto, TWI, EVI e a ETA não passaram por normalização

Tabela 01:

Atributo do Solo	Normalização	IV	R ² (normalização)	R ² (<i>back-transformed</i>)	RMSE
UG	Log	GARI	0,91	0,93	0,93
UV	Log	EVI	0,89	0,89	3,26
DS	Exp	SAVI 1.0	0,80	0,80	0,089
DP	10 ^x	EVI	0,84	0,88	0,04
α	Log	SAVI 1.0	0,74	0,74	3,77
RP	Log	EVI	0,88	0,86	1,66

Na calibração das FPTs para a UG, o IV que apresentou o melhor desempenho foi o GARI cujos os valores de R² normalizado e transformados (*back-transformed*) foram iguais a 0,91 e 0,93, respectivamente, e o RMSE de 0,93 g g⁻¹. Já para a quantificação da UV, o IV que apresentou o melhor desempenho foi o EVI cujos os resultados obtidos na etapa de calibração foram R² normalizado de 0,89 e R² para dados transformados de 0,89, com RMSE de 3,26%. Na calibração da Ds, o IV com melhor desempenho foi o SAVI (L=1.0), cujos valores de R² normalizado e depois transformado foram de 0,80 não sofrendo alteração significativa e o RMSE de 0,089 g cm⁻³. Para a Dp, o melhor IV foi o EVI, com resultados para calibração de R² normalizado de 0,84 e 0,88 para transformado e com o RMSE de 0,04 g cm⁻³. Para α e RP, os IVs que apresentaram melhor desempenho foram o SAVI (L=1.0) e o EVI respectivamente. No entanto, os valores de R² normalizado e transformados não apresentaram mudanças para α , sendo 0,74 e o RMSE de 3,77%. Já a RP apontou valores de R² normalizado de 0,88 e de transformado 0,86 com um RMSE de 1,66 MPa. Além dos IVs, as variáveis independentes que contribuíram significativamente para a modelagem dos atributos físico-hídricos do solo foram: sombreamento, rugosidade, declividade, aspecto, altitude, TWI e ETA. Cabe ressaltar que a variável ETA não foi utilizada na modelagem da RP por não apresentar uma significância relativa.

CONCLUSÕES: De forma preliminar, é possível quantificar alguns dos atributos físico-hídricos do solo (UG, UV, Ds, Dp, α e RP) utilizando FPTs baseados dados de relevo, ETA e IVs obtidos a partir de imagens de satélite. No entanto, os modelos obtidos ainda necessitam ser testados com conjunto de dados externos diferentes dos utilizados na calibração para a obtenção de resultados mais assertivos.

REFERÊNCIAS:

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 3a ed., 573p, 2017.

GROHMANN, C. H; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia: SRTM DEMs applications in geomorphology. **Revista Geografia Acadêmica**, [s.l], v. 2, n. 2, p.73-83, ago. 2008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: Bernardi, Alberto Carlos de Campos. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília-DF: Embrapa, 2014.p.58-73.ISBN 978-85-7035-352-8.