



## Função de pedotransferência para estimativa da densidade do solo na Região Norte Fluminense (RJ)<sup>(1)</sup>

**Andréa da Silva Gomes<sup>(2)</sup>; Ana Carolina Souza Ferreira<sup>(3)</sup>; Mauro Antonio Homem Antunes<sup>(4)</sup>; Marcos Bacis Ceddia<sup>(4)</sup>, Lúcia Helena Cunha dos Anjos<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com apoio do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), CAPES e FAPERJ.

<sup>(2)</sup> Doutoranda do CPGA-CS (UFRRJ). Seropédica, Rio de Janeiro; andrea\_zooufc@yahoo.com.br; <sup>(3)</sup> Mestranda do CPGA-CS (UFRRJ). <sup>(4)</sup> Professor; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**RESUMO:** Dados de densidade do solo (Ds), frequentemente, não são obtidos ou não estão disponíveis em relatórios de levantamento de solos dificultando seu uso para gerar outros mapas, como os dos atributos disponibilidade de água e estoque de carbono (EC). Entretanto, é preconizado que a modelagem matemática pode ser uma ferramenta para suprir, em parte, a falta dessa informação. O objetivo do trabalho foi desenvolver função de pedotransferência (FPT) para estimar Ds a partir de dados de levantamento de solos na região norte fluminense do Estado do Rio de Janeiro. Para gerar a FPT foram usados 140 perfis, originados de relatórios do Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte Fluminense (PROJIR) do Rio de Janeiro. Foi desenvolvido modelo de regressão linear múltipla e aplicados os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio de predição (MPE), raiz do quadrado médio do erro de predição (RMSPE) e o erro médio absoluto (MAE). O modelo gerado apresentou  $R^2$  igual a 0,82; MPE igual a 0,01; MAE igual a 0,06 e RMSPE igual a 0,08; que mostram bom ajuste dos dados ao modelo, uma vez que o MPE, o MAE e o RMSPE possuem valores próximos a zero e o coeficiente de determinação foi próximo de 1. Portanto, a FPT mostrou-se adequada a predição do atributo Ds na região estudada.

**Termos de indexação:** estoque de carbono, PROJIR, regressão linear múltipla.

### INTRODUÇÃO

A densidade do solo (Ds) é relevante para o cálculo de atributos do solo, tais como: estoque de carbono e porosidade total; além da conversão de dados de massa para volume e como indicador de compactação ou adensamento. Como, em geral, a finalidade dos levantamentos de solos era a de geração de mapas que ilustrassem a distribuição das classes de solo em uma dada área, eram analisados atributos prioritários para a classificação taxonômica. Ainda, pelas escalas dominantes nos

levantamentos, não era incluída na maioria dos trabalhos a determinação da Ds.

Atualmente, existe demanda por mapas de atributos do solo, para interpretar informações tais como: estoque de carbono, disponibilidade de água, resistência à penetração radicular, entre outros. Para o estoque de C, os mapas podem dar suporte a estudos sobre a variação do conteúdo de C em agroecossistemas e sua relação com mudanças climáticas e emissões de gases de efeito estufa (Batjes & Dijkshoorn, 1999; Cerri et al., 2007).

O uso de modelos matemáticos para predir informações ou respostas vem sendo difundido com os avanços tecnológicos e computacionais, o que pode reduzir o tempo e custo para obter dados de solos, em relação a procedimentos tradicionais. A função de pedotransferência (FPT) surge neste contexto e pode ser resumida no seguinte conceito - "transformar dados que possuímos em dados que necessitamos" (Bouma, 1989).

Benites et al. (2007) desenvolveram FPTs para predir Ds em solos de vários biomas brasileiros, a partir de propriedades de fácil obtenção. Marcolin & Klein (2011) estimaram a densidade relativa do solo a partir de FPT da Ds máxima de solos em plantio direto no Rio Grande do Sul. Araújo et al. (2012) usaram equações lineares múltiplas para relacionar teor de argila, C e pH, e estimar Ds nas camadas de 20 – 40 cm em solos no Acre. Nascimento et al. (2010) desenvolveram FPT para estimar capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, a partir de dados de granulometria, Ds e carbono orgânico de Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, em ambiente de Tabuleiro de diferentes localidades do Brasil

O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma função de pedotransferência para estimar a Ds a partir de levantamento de solos na região norte do Estado do Rio de Janeiro.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

O levantamento de solos utilizado no estudo compreende parte da região norte fluminense, no Estado do Rio de Janeiro, que abrange os

municípios de Campos dos Goytacazes, Conceição de Macabu, Macaé e São João da Barra. A área do levantamento é de cerca de 250.000 hectares, o que representa cerca de 30% da região (IAA, 1985).

O clima dominante é o Aw, quente e úmido, com estação chuvosa no verão, segundo Köpen. Quanto à geologia, se destacam três unidades: Complexo Cristalino, Formação Barreiras e Aluviões Quaternários. Quanto à fisiografia, apresenta cinco unidades: planícies aluviais do Paraíba e afluentes maiores; planícies fluviais menores; terras altas de Tabuleiros; terras baixas do Complexo Cristalino e cordões litorâneos.

Na década de 1980, a área era ocupada quase totalmente com a lavoura de cana-de-açúcar, o que justificou a realização do PROJIR. Hoje, a ocupação das terras mostra, além da lavoura da cana, a expansão da fruticultura nos tabuleiros; aumento de centros urbanos, principalmente nos arredores de Campos dos Goytacazes; e pastagens.

#### Desenvolvimento da FPT

Para desenvolver a FPT foram selecionados 140 perfis de solo, com dados de densidade do solo, carbono orgânico total (COT) e granulometria. Foram utilizados 105 perfis para o desenvolvimento dos modelos e 35 (25% - conjunto de dados de validação) foram sorteados, de forma aleatória, para posterior validação do modelo gerado.

A estatística descritiva do conjunto de dados foi aplicada para avaliar existência de dados anômalos (*outliers*) e verificar normalidade dos dados.

A normalidade dos dados pode ser observada pela análise do coeficiente de assimetria e curtose, onde os valores mais próximos de zero, para a assimetria, e menores que 3 para a curtose, tendem a distribuição normal (Carvalho et al., 2002). Para o caso de não normalidade da variável resposta utilizou-se a transformação Box-Cox (Box & Cox, 1964), método simples que encontra a melhor transformação a ser usada em um conjunto de dados para se obter a normalidade.

O procedimento estatístico *stepwise* foi usado para seleção de variáveis preditoras e a FPT gerada a partir de modelo de regressão linear múltipla, usando o programa Action (versão 2.4).

#### Avaliação do desempenho da FPT

Índices de avaliação de desempenho de modelos de regressão foram aplicados, para comparar o potencial preditivo do modelo gerado. Foi analisada graficamente a relação 1:1 dos valores estimados vs valores medidos e aplicados indicadores estatísticos tais como: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro

médio de predição (MPE), a raiz do quadrado médio do erro de predição (RMSPE) (Benites et al., 2007; Michelon et al., 2010) e erro médio absoluto (MAE):

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \quad \text{Eq. 1}$$

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad \text{Eq. 2}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

$y_i$  = densidade do solo medida da  $i$ -ésima amostra de solo;

$\hat{y}_i$  = densidade do solo estimada para a  $i$ -ésima amostra de solo;

$n$  = número total de observações.

O MPE indica a exatidão da estimativa, revelando a tendência da FPT de superestimar os valores (quando positivo) ou de subestimar (quando negativo). Quanto mais próximo de zero for o MPE, maior será a acurácia do modelo. O MAE também é indicador de exatidão, mas não revela tendência de superestimação ou subestimação, pois utiliza o valor absoluto (em módulo) das diferenças entre os valores estimados e medidos. A RMSPE quantifica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da linha 1:1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** são apresentados os valores das análises estatísticas: média, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e coeficiente de assimetria e curtose para o conjunto total de dados. Os solos estudados apresentam maiores teores de argila (AT) e areia, e muito baixo teor de silte, além de baixos teores de COT, o que está de acordo com as condições de formação dos solos de tabuleiro e seu longo e intenso uso. Dentre os atributos do solo, COT e AT apresentaram maior coeficiente de variação e desvio de assimetria e curtose em relação à referência de distribuição normal (assimetria 0 e curtose 3).

Na **tabela 2** são apresentados os dados de correlação entre os atributos usados para gerar a FPT. A Ds apresenta correlação significativa com todos os atributos analisados. A correlação é negativa com os atributos argila, silte e COT, ou seja, quanto maiores os teores destes atributos menores os valores de Ds; e positiva com o atributo areia, ou seja, quanto maior o teor de areia maior o valor de Ds.

Através da aplicação do procedimento estatístico *stepwise*, foi construído o modelo de predição (FTP)



da Ds, pela simples escolha de variáveis preditoras. Foram aceitas as seguintes variáveis selecionadas pelo procedimento estatístico: teor de areia e COT. A equação contendo as variáveis e respectivos regressores é apresentada abaixo (Equação - 4):

$$Ds = 0,108 + 0,0003 (AT) - 0,028 (COT) \quad \text{Eq. 4}$$

A matéria orgânica influencia vários atributos do solo, principalmente os relacionados à formação de agregados e a quantidade de cargas negativas, aumentando a capacidade de troca de cátions do solo. Em relação à formação de agregados, a matéria orgânica atua como agente cimentante, unindo e estabilizando as partículas tanto unitárias quanto secundárias do solo (Batista et al., 2013). O alto índice de agregação indica maior grau de agregação do solo e com isso, baixos valores de densidade. Assim, percebe-se uma relação inversa entre densidade do solo e teor de carbono orgânico.

Em relação à textura, os solos arenosos apresentam maiores valores de densidade do solo em relação aos argilosos (Libardi, 2005). O que justifica a relação direta entre teor de areia e a Ds.

A comparação do desempenho da FPT gerada foi feita através dos índices de avaliação de desempenho de modelos e a avaliação gráfica. Como a variável dependente (Ds) precisou ser transformada, o valor predito da mesma foi novamente transformado para comparar valores preditos e estimados, com a equação 5 (Box-Cox):

$$x = \exp(x_T), \text{ sendo } \beta=0 \quad \text{Eq. 5}$$

No gráfico de dispersão entre os valores medidos e estimados de Ds (**Figura 1**), nota-se que o modelo gerado tende a subestimar mais do que superestimar os valores de Ds, o que é afirmado pelo valor de MEP negativo. Os índices de avaliação do modelo gerado foram: MEP = 0,01, AME = 0,06, RMSPE = 0,08 e  $R^2 = 0,82$ . Considerando como ideal - erros nulos e valor de  $R^2$  próximo a 1, têm-se que o modelo apresentou-se bem ajustado e adequado aos solos e ambiente para os quais foi desenvolvido.

## CONCLUSÕES

A FPT gerada para estimar a densidade de solos apresentou bom ajuste dos dados ao modelo; ou seja, a FPT foi adequada para predição do atributo Ds nos solos da Região Norte Fluminense (RJ).

## AGRADECIMENTOS

A CAPES, FAPERJ, CPGA-CS, Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia, UFRRJ/ Campus de Campos de Goytacazes e UFRRJ/Campus Seropédica.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. A., *et al.* Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Revista Acta Amazônica*, 41: 103 – 114, 2011.
- BATISTA, I.; *et al.* Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. *Semina: Ciências Agrárias*, 34: 1535 – 1548, 2013.
- BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region. *Geoderma*, 8: 273-286, 1999.
- BENITES, V.M. *et al.* Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, 139:90-97, 2007.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, 9: 177-213, 1989.
- CARVALHO, J.R.P. *et al.* Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *PAB*, 37: 1151-1159, 2002.
- CERRI, C. *et al.* Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agriculture Ecosystems & Environments*, 122: 58-72, 2007.
- INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL, MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte Fluminense. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1985. (Múltiplos volumes).
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Edusp, 2005.
- MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, 33: 349-354, 2011.
- NASCIMENTO, G.B. *et al.* Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár.*, 5(4): 560-569, 2010.

**Tabela 1.** Estatística descritiva das variáveis do conjunto de dados usadas para geração da FPT.

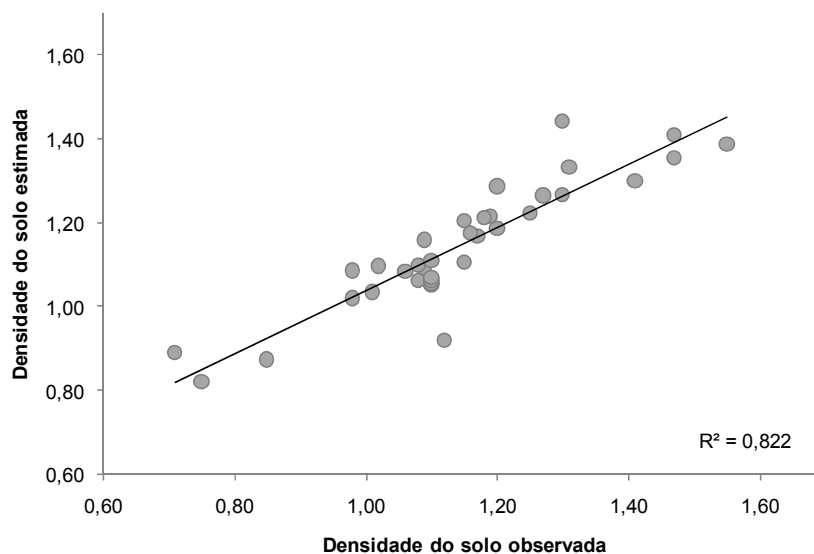
Variável	Média	Mín	Max	DP	CV	Ass.	Curt.
Ds ( $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	1,16	0,71	1,55	0,013	13,3	0,217	0,680
AT ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	303,51	4,17	947,50	25,125	97,9	0,859	-0,579
Silte ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	233,87	0,10	492,50	9,561	48,4	-0,407	-0,846
Argila ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	462,62	28,00	869,17	18,510	47,3	-0,383	-0,817
COT (%)	2,13	0,30	13,00	0,171	95,4	2,757	8,577

Mín = mínimo; Max. = máximo; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação (%); Ass = assimetria; Curt. = curtose; Ds = densidade do solo; AT = areia total; COT = carbono orgânico total.

**Tabela 2.** Matriz de correlação entre os atributos do solo usados para geração das FPTs.

Atributos	Ds	AT	Silte	Argila	COT
Ds	1,000				
areia	<b>0,797</b>	1,000			
silte	<b>-0,680</b>	<b>-0,791</b>	1,000		
argila	<b>-0,731</b>	<b>-0,949</b>	<b>0,557</b>	1,000	
COT	<b>-0,467</b>	-0,133	<b>0,167</b>	0,094	1,000

Os valores de correlação de Pearson em negrito são significativos (Alfa = 0,05).



**Figura 1.** Valores observados versus valores estimados de densidade do solo ( $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ).