

## MAPEAMENTO DIGITAL DE CARBONO DO MUNICÍPIO DE GRAVATAÍ - RS

STEFAN DOMINGUES NACHTIGALL<sup>1</sup>; LUCAS DA SILVA BARBOSA<sup>2</sup>;  
JEFERSON DIEGO LEIDEMER<sup>3</sup>; ADÃO PAGANI JUNIOR<sup>4</sup>; BEATRIZ BRUNO  
DO NASCIMENTO<sup>5</sup>; PABLO MIGUEL<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – stefan.nachtigall@ufpel.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – lucassiba2011@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – jeferson.leidemer@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – jr.paganii@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – beatrizncbruno@gmail.com

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – pablo.miguel@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura sustentável e o efetivo manejo do ambiente são temas extremamente relevantes e importantes na sociedade moderna. Esta importância demanda de informações detalhadas que subsidiem o desenvolvimento de práticas cada vez menos nocivas ao ambiente e que aumente a eficiência da agricultura sem exaurir os recursos do solo.

Para diversas atividades ligadas a agricultura ou mesmo ao planejamento agrícola, informações mais diretas tem melhor engajamento e direcionam melhor os esforços e recursos. Neste sentido, conhecer e mapear atributos do solo tem uma importância iminente, pois trabalha diretamente com o interesse do agricultor ou da sociedade. No mapeamento digital de solos, esta característica se destaca e é objeto de diversas pesquisas que mapeiam atributos do solo (HATEFFARD et al., 2019; LOZBENEV et al., 2021; MINASNY et al., 2013).

Em meio aos atributos do solo, o carbono orgânico do solo (COS) já vem sendo estudado a mais tempo por sua relação com a atmosfera, os estoques de carbono no solo e a relação que o solo desempenha como regulador deste elemento (BONFATTI et al., 2016). As frações granulométricas também possuem pesquisas mais desenvolvidas neste sentido, pois a argila e areia possuem grande relação com os processos erosivos e com as capacidades de manejo de cada solo.

Considerando o que foi exposto, o mapeamento digital de solos (MDS) pode ser empregado para testar, avaliar e direcionar os esforços de projetos futuros, além de oferecer informações igualmente precisas para o município de Gravataí, fornecendo um conjunto de informação referentes ao COS através do MDS, visando contribuir para o monitoramento deste atributo químico. Portanto, o objetivo deste estudo mapear o COS do horizonte superficial a partir de 21 perfis de solo descritos no município de Gravataí, bem como, avaliar a incerteza dessa estimativa a fim de direcionar novas amostras e validar os atuais.

### 2. METODOLOGIA

O Município de Gravataí localiza-se na região metropolitana de Porto Alegre (Figura 1), seu território cobre 463 km<sup>2</sup>. É composto predominantemente por rochas pertencentes às Bacias do Paraná e Pelotas, e uma porção restrita pertencente à província geomorfológica do Escudo Sul-rio-grandense, representado pela suíte Dom Feliciano. O território de Gravataí compreende em sua extensão basicamente três feições de relevo, sendo uma com relevo variando de plano até suave ondulado mais ao sul do município e que o corta longitudinalmente, outra mais ao norte com maiores altitudes, variando de 150 a 255m, e que contemplam declividades

superiores a 20%, com a presença de vales e escarpas. Ainda tem a ocorrência de uma área intermediária, mais central, com variabilidade de declividade entre 8 a 20%. O clima do município é classificado como Cfa (Clima temperado úmido com verão quente) na classificação de Köppen.

Os 21 perfis de solos (Figura 1) foram descritos e coletados conforme metodologia preconizada por (SANTOS et al., 2015) e estes foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). As análises de COS foram realizadas nos horizontes superficiais pelo método de oxidação via úmida conforme método descrito por Teixeira et al. (2017) e sendo representado em  $g\ kg^{-1}$ .

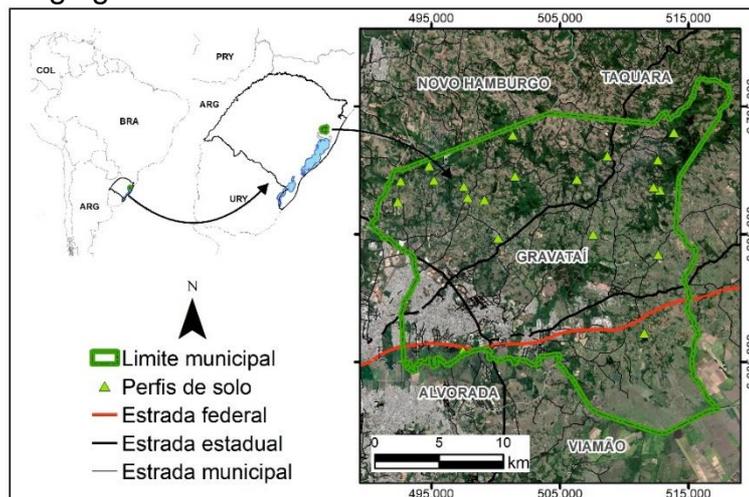


Figura 1 - Mapa de localização do município de Gravataí, Rio Grande do Sul.

O geoprocessamento foi utilizado para adquirir e armazenar as informações pontuais dos perfis, gerando um banco de dados georreferenciado em coordenadas geográficas com sistema de projeção WGS 84. A formatação dos dados consta em reunir as informações de forma a representar um identificador, coordenadas UTM e a coluna com a variável a ser estimada, todos estes dados são padronizados em formato csv, com separadores decimais e identificação das células sem valor. Estes dados de entrada foram por sua vez importados ao *software R* onde foram associados às covariáveis ambientais e processados. Foram geradas 41 covariáveis ambientais, dessa forma, utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 30m, para gerar 27 covariáveis associadas a capacidade preditiva do mapeamento digital de solos, foram também utilizadas covariáveis derivadas do sensoriamento remoto, através do sensor orbital Sentinel 2A, agregando mais 14 covariáveis, estes planos de informação foram determinados no *software R* por integração com o SAGA GIS.

O treinamento do modelo começa com a definição da função matemática a ser utilizada, sendo o carbono o resultado da interação de todas as covariáveis, são definidos os dados de calibração; o número de árvores que o modelo vai gerar, seleção do Random Forest (rf) como modelo de matemático, logo, tem-se a estimativa de todas as células da área de interesse com base no modelo treinado. Do mesmo modo, a incerteza é estimada a partir do desvio padrão das variações dos valores de cada pixel, sendo especializada em toda área do município.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos utilizados no mapeamento digital de solos (Tabela 1) variaram entre  $7,8g\ kg^{-1}$  e  $21,9g\ kg^{-1}$  de COS, sendo que ambos os valores são em Argissolos

Vermelhos, enquanto os outros pontos também contemplam Cambissolos e Nitossolos.

Tabela 1 - Dados de entrada utilizados para estimar o COS por meio do modelo random forest.

Ponto	Coordenadas UTM		COS (g kg <sup>-1</sup> )	Ponto	Coordenadas UTM		COS (g kg <sup>-1</sup> )
	WGS 84				WGS 84		
	X	Y			X	Y	
1	6694696	500195	14,8	12	6699145	492623	11,9
2	6702732	501339	17,0	13	6700355	494852	11,2
3	6699523	501519	14,1	14	6699202	495204	11,9
4	6699303	506330	9,4	15	6697857	497843	8,4
5	6701107	508707	8,8	16	6697682	499143	12,6
6	6700783	512630	12,6	17	6698713	497543	10,9
7	6698432	512805	13,2	18	6702947	513872	10,9
8	6693387	512650	9,0	19	6698684	512297	9,9
9	6687239	511581	21,9	20	6694962	507604	11,0
10	6685886	497480	14,2	21	6693269	504364	15,9
11	6697529	492391	7,8				

A estimativa de COS (Figura 2A) revelou que a distribuição desse atributo é uniforme ao longo do município, apresentando picos em áreas de maior altitude dentro da paisagem, além de poder incorporar fatores locais como histórico de manejo da área e atividade biológica (CAMBULE; ROSSITER; STORVOGEL, 2013). Destaca-se também, a porção sul da área de estudo a qual não apresenta variações expressivas nos teores de COS, esta condição se deve ao fator de ser uma área de várzea e com paisagem muito plana e úmida, estas condições uniformizam as covariáveis utilizadas e resultam em estimativas estáveis.

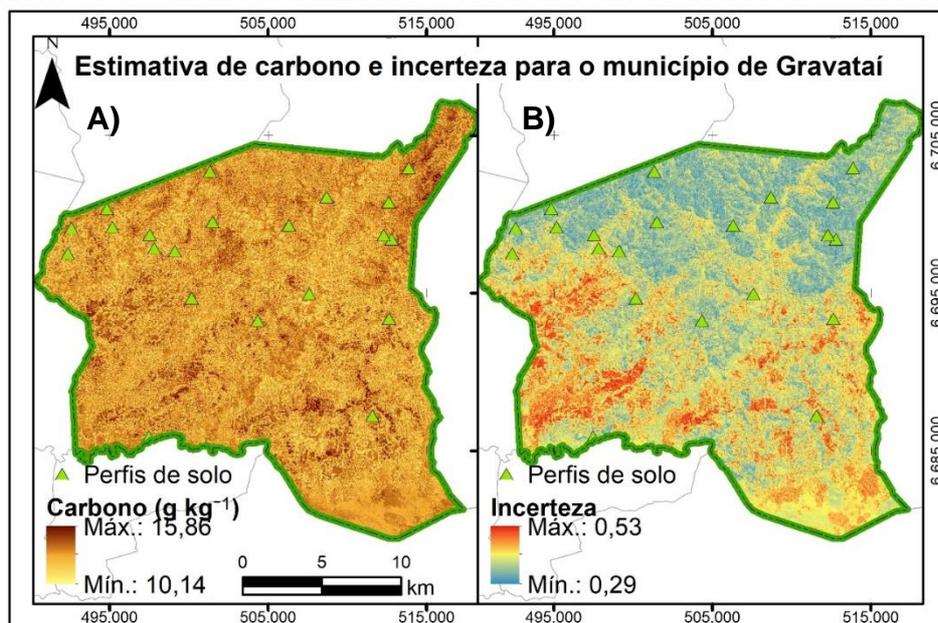


Figura 2 - Mapa de carbono dos horizontes superficiais e incerteza associada a predição pelo modelo random forest para o município de Gravataí.

Analisando a incerteza da estimativa de COS (Figura 2B), observa-se que os valores com menor incerteza se localizam em áreas com maior densidade amostral, o qual aumenta a capacidade do modelo Random Forest de representar a paisagem e estimar corretamente os valores de COS e consequentemente reduzir

os níveis de incerteza. Enquanto as áreas com maior incerteza são áreas urbanas na qual não são possíveis coletas de perfis e onde as covariáveis não tem capacidade representativa, e, áreas onde a paisagem sofre grande variação, seja na altitude ou declividade, estas condições são associadas ao conjunto de covariáveis utilizados que se baseiam primariamente em condições de relevo, as quais reverberam estas variações na estimativa e na incerteza.

#### 4. CONCLUSÕES

O mapeamento digital de solos foi efetivo ao oferecer um panorama de como se distribui o COS ao longo da paisagem do município de Gravataí. Além da distribuição do conteúdo de COS, tem-se a avaliação desta predição através da distribuição da incerteza associada a predição, a qual indica que certas áreas necessitam de maior representação por meio de novas amostras.

O Random Forest foi capaz de estimar o COS com valores mínimos de 10,14g kg<sup>-1</sup>, média de 12,39g kg<sup>-1</sup> e máximo de 15,86 e com desvio padrão de 0,42, possuindo então, menor amplitude do que os dados de campo, porém maior proximidade com a média.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONFATTI, Benito R.; HARTEMINK, Alfred E.; GIASSON, Elvio; TORNQUIST, Carlos G.; ADHIKARI, Kabindra. Digital mapping of soil carbon in a viticultural region of Southern Brazil. *Geoderma*, [S. l.], 2016. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.016.

CAMBULE, A. H.; ROSSITER, D. G.; STOORVOGEL, J. J. A methodology for digital soil mapping in poorly-accessible areas. *Geoderma*, [S. l.], v. 192, n. 1, p. 341–353, 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.08.020.

HATEFFARD, Fatemeh; DOLATI, Payam; HEIDARI, Ahmad; ZOLFAGHARI, Ali Asghar. Assessing the performance of decision tree and neural network models in mapping soil properties. *Journal of Mountain Science*, [S. l.], v. 16, n. 8, p. 1833–1847, 2019. DOI: 10.1007/s11629-019-5409-8.

LOZBENEV, Nikolai; YUROVA, Alla; SMIRNOVA, Maria; KOZLOV, Daniil. Incorporating process-based modeling into digital soil mapping: A case study in the virgin steppe of the Central Russian Upland. *Geoderma*, [S. l.], v. 383, 2021. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114733.

MINASNY, Budiman; MCBRATNEY, Alex B.; MALONE, Brendan P.; WHEELER, Ichsani. Digital Mapping of Soil Carbon. In: *Advances in Agronomy*. [s.l.: s.n.]. p. 1–47. DOI: 10.1016/B978-0-12-405942-9.00001-3.

SANTOS, Humberto Gonçalves Dos et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. Disponível em: [www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/). Acesso em: 11 mar. 2019.

SANTOS, Raphael David Dos; SANTOS, Humberto Gonçalves Dos; KER, João Carlos; ANJOS, Lúcia Helena Cunha Dos; SHIMIZU, Sérgio Hideiti. *Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo*. 7a ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Gerales. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>.