



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

MAPEAMENTO PREDITIVO DE SOLOS COM USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS, EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Janaina Natali Antonio^(a), José Tadeu Garcia Tommaselli^(b), Graciela Isabel Metternicht^(c)

^(a) Universidade Estadual Paulista, UNESP, Email: janainaantonio.geo@gmail.com

^(b) Universidade Estadual Paulista, UNESP, Email: tadeu@fct.unesp.br

^(c) University of New South Wales, UNSW, Email: g.metternicht@unsw.edu.au

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo/

Este artigo tem como objetivo apresentar o mapeamento preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP, realizado com o uso de redes neurais artificiais (RNA) e da integração de atributos do relevo. A compreensão da relação existente entre os solos e os atributos do relevo derivados de um modelo digital de elevação (MDE) forneceu informações para relacionar os principais padrões de ocorrência de tipos de solos aos atributos de elevação, declividade, perfil de curvatura do relevo, geoformas e aspecto. Entre as variáveis utilizadas as que tiveram destaque foram declividade e geoformas, apresentando similaridade de padrão de ocorrência. As RNAs se mostraram uma técnica eficiente para o delineamento das unidades de solos, e permitiram a identificação de componentes da paisagem por meio do estabelecimento de padrões gerados a partir das coletas de amostras.

Palavras chave: Mapeamento de solos, atributos do relevo, redes neurais artificiais, modelo digital de elevação.

1. O uso de redes neurais artificiais para o mapeamento de solos

O aumento da complexidade e do volume de problemas a serem resolvidos computacionalmente tornou clara a necessidade de ferramentas computacionais mais sofisticadas que



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

pudessem reduzir a necessidade de intervenção humana, que fossem capazes de aprender a partir da experiência passada, como na abordagem de Inteligência Artificial em que a capacidade de aprendizado é considerada essencial (FACELI et al., 2011).

As RNAs fazem parte do ramo da Inteligência Artificial (RIBEIRO, 2003) e se baseiam em modelos matemáticos e de engenharia baseados em neurônios biológicos (KOVÁCS, 2002), permitindo que informações lógicas ou valores numéricos possam ser processados para gerar um dado de saída (RIBEIRO, 2003). Para realizar este processamento o conhecimento é adquirido pela RNA através do processo de aprendizagem e armazenados pela conexão entre os neurônios, conhecidas como pesos sinápticos (HAYKIN, 2001).

As vantagens do uso de sistemas inteligentes são que estes possuem características semelhantes, tais como: paralelismo massivo, representação e computação distribuídas, habilidade de generalização, adaptabilidade, processamento de informações contextual inerente, tolerância a falhas (ROSA, 2011), alta versatilidade (VIEIRA e ROISENBERG, 2008), velocidade no processamento (SABO, 2006) e reconhecimento de padrões com uma quantidade pequena de amostras de treinamento (RIBEIRO, 2003).

O funcionamento da RNA é determinado pela conexão entre as unidades de processamento. É possível treinar uma rede para reproduzir uma função particular através do ajuste das conexões entre as unidades (RIBEIRO, 2003). A organização das RNAs em camadas é conhecida como topologia ou arquitetura de rede, as quais podem ser compostas por apenas uma camada simples ou por multicamadas formadas por várias camadas intermediárias, de acordo com o problema a ser resolvido (SABO, 2006).

Com a utilização dessa metodologia é possível avaliar padrões associados aos tipos de rochas, formas do terreno, textura do solo, condições da rede de drenagem, suscetibilidade ao escoamento e materiais inconsolidados sobre as rochas (RIBEIRO, 2003). As RNAs foram utilizadas com sucesso em análises ambientais recentes, na linha das técnicas quantitativas utilizadas em Pedometria, em grande parte dos casos com a finalidade de realizar a predição de classes de solos com maior rapidez e precisão e com custos mais baixos.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Zhu (2000) desenvolveu abordagem de RNA para modelo de similaridade de solo, projetada para representar a paisagem do solo como contínuos espaciais, em Montana – EUA. A informação espacial da abordagem de RNA revelou maiores detalhes e qualidade superior à do mapa convencional. Chagas (2006) utilizou atributos do terreno e dados de sensores remotos utilizando RNA para a predição de classes de solos, no Rio de Janeiro – BR, com diferentes combinações das variáveis, que obteve desempenho superior ao dos mapas produzidos pelo método convencional e pelo classificador MAXVER.

Sirtoli (2008) utilizou RNA para a predição de unidades de solos com a utilização de atributos do terreno e índices espectrais, na área da Formação Guabirota em Curitiba – BR, e obteve resultados semelhantes ao mapa convencional, porém identificou pequenos componentes na paisagem difíceis de serem caracterizados pelo mapeamento convencional. Arruda (2012) utilizou RNA e outras técnicas digitais, em Barra Bonita – BR, com as variáveis do relevo derivados, MDE, e os resultados indicaram a mesma disposição de solos que nos mapas convencionais.

As RNAs são aplicadas com sucesso em análises ambientais utilizadas em Pedometria, com finalidade de predição de classes de solos com maior rapidez e precisão, além de custos mais baixos que em mapeamentos convencionais e, por isso, há um crescente aumento no número de trabalhos nessa área.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2. Materiais e procedimentos

2.1. Área de estudo

A área do município de Presidente Prudente – SP, apresentada na Figura 1, é composta por depósitos sedimentares da Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru, que abrange uma vasta área no Oeste Paulista e no Planalto Ocidental (IPT, 1981). A Formação Adamantina recobre as unidades pretéritas, coberta parcialmente pela Formação Marília e por Coberturas Cenozoicas, com tendência a sedimentos mais finos e bem selecionados (ALMEIDA et al., 1980; IPT, 1981; FUSHIMI, 2012).

Os solos mais representativos da região de Presidente Prudente – SP são: solos desenvolvidos, solos rasos a desenvolvidos, solos rasos e solos hidromórficos, associados aos Latossolos, Argissolos, Neossolos, Planossolos e Gleissolos (FUSHIMI, 2012).

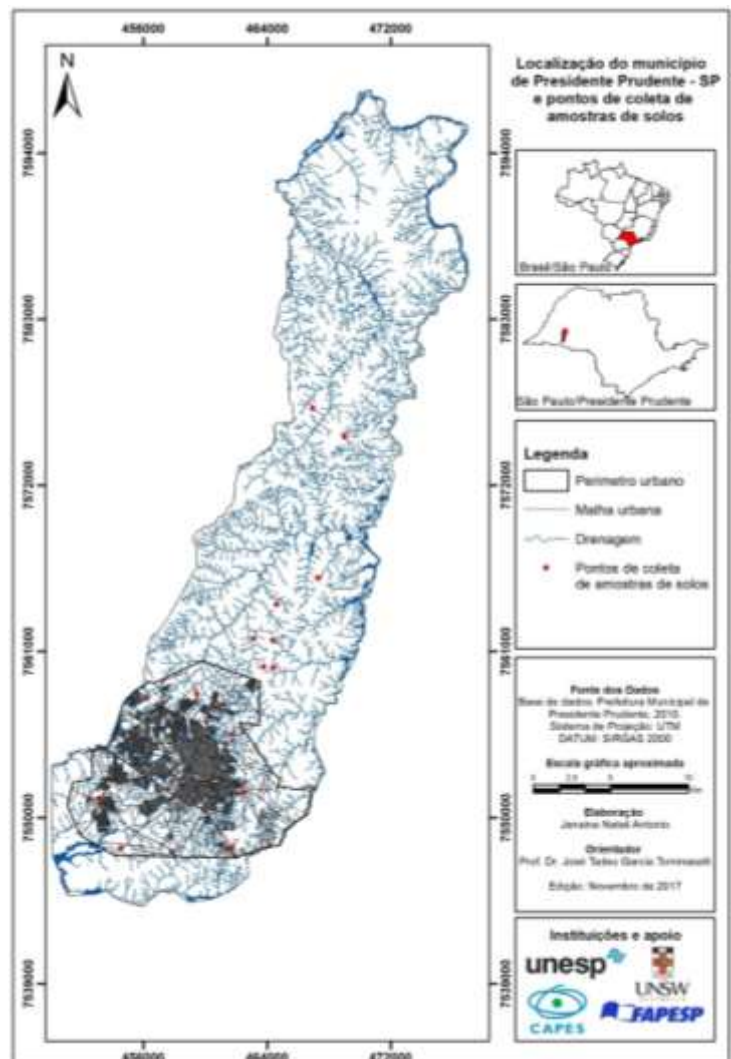


Figura 1 - Localização do município de Presidente Prudente – SP e dos pontos de coleta de amostras de solo

Fonte: ANTONIO, 2017.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2.2. Elaboração de mapas com atributos do relevo e coleta de amostras de solo

Para a elaboração do mapa preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP foram realizados os procedimentos indicados na Figura 2.

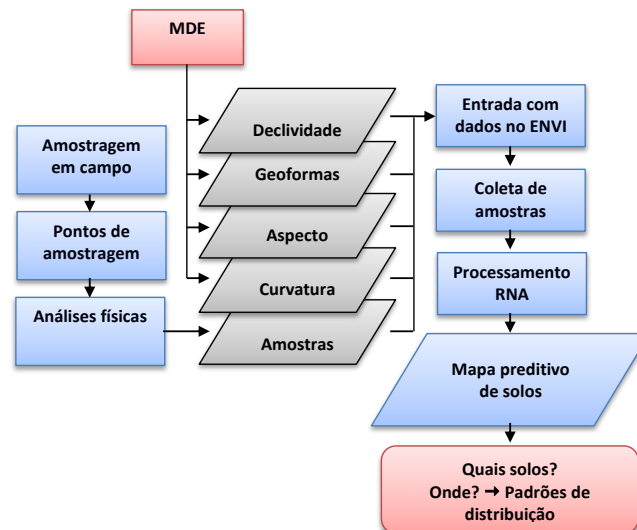


Figura 2 - Diagrama de blocos das etapas de trabalho para o mapeamento preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP

Fonte: ANTONIO, 2017.

A elaboração de um MDE da área de estudo foi o procedimento inicial para a obtenção dos modelos com características do relevo. Para a elaboração do MDE e dos mapas derivados, foram utilizados o software ArcGIS 10.2 e a base digital de curvas de nível. Os atributos do relevo utilizados foram: elevação, perfil de curvatura, declividade, geoformas e aspecto, que combinados com os resultados das amostras texturais e morfológicas foram organizados por tabulação cruzada.

O mapa de curvatura do relevo teve suas categorias definidas após diversos testes para adequação dos tipos de curvatura às informações das curvas de nível. Foram definidas três classes (côncava, convexa e retilínea), com seleção de intervalo de -0,5% a +0,5% para a



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

classe de vertentes retilíneas, com base em Valeriano (2003) e pela proximidade da delimitação feita manualmente em uma área de teste.

Para a elaboração do mapa de declividade, foram utilizados os parâmetros indicados pela EMBRAPA (2013), que propõe a utilização das seguintes classes de declividades: 0 – 3% (plano), 3 – 8% (suave ondulado), 8 – 20% (ondulado), 20 – 45% (forte ondulado), 45 – 75% (escarpado) e acima de 75% (montanhoso).

Para a elaboração do mapa das geoformas, foram utilizados os conceitos de Evans (2016) e Reuter e Nelson (2009), baseados em MacMillan e Pettapiece (1997), que consideram quatro tipos de formas do relevo: Crest – Shoulder (topo), Upper – Mid Slope (alta vertente), Mid – Lower Slope (média vertente) e Toe – Depression (fundo de vale).

O mapa de aspecto define a direção do fluxo de água e está relacionado diretamente com a evapotranspiração, insolação, teor de água no solo e, por consequência, o grau de evolução dos solos (MOORE et al., 1993; WILSON e GALLANT, 2000). A elaboração do mapa de aspecto foi baseada em Reuter e Nelson (2009).

A coleta de amostras de solos foi realizada seguindo os procedimentos indicados por Lemos e Santos (1996) e posterior análises no Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos da FCT/UNESP para identificação dos tipos de solo. Para a elaboração do mapa preditivo de solos, foram adicionados 8 pontos de amostragem em áreas localizadas fora do perímetro urbano, extraídos da dissertação de mestrado de Fushimi (2012).

2.3. Processamento das variáveis do relevo e elaboração do mapa preditivo de solos

Para o processamento do mapa preditivo de solos, foram utilizadas as variáveis de entrada: declividade, geoformas, aspecto e curvatura, das quais os dados foram agrupados em arquivo único, com 5, 4 e 3 bandas, para a coleta de amostras de treinamento e processamento das RNAs. A Figura 3 exibe o diagrama de blocos explicando a sequência realizada para o processamento das RNAs.

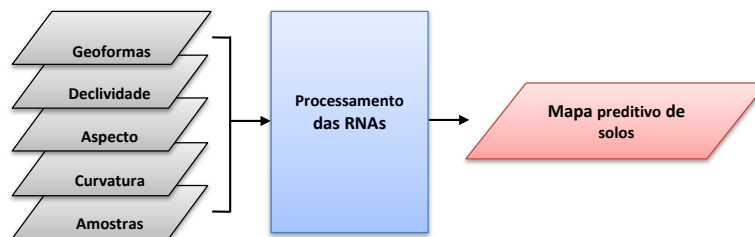


Figura 3 - Diagrama de blocos da sequência utilizada para o processamento das RNAs para a elaboração de um mapa preditivo de solos

Fonte: ANTONIO, 2017.

Após o procedimento de entrada dos dados, é necessário realizar a coleta de amostras de treinamento utilizadas para a amostragem e o processamento pelas RNAs. Os dados resultantes compuseram o arquivo com os elementos aspecto, curvatura, geoformas e declividade, apresentados na Figura 4.

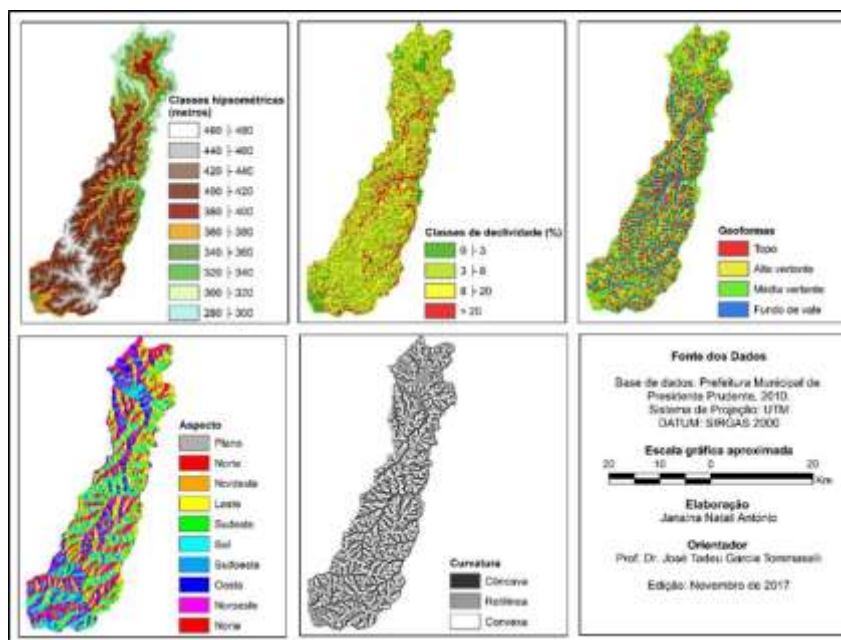


Figura 4 - Elementos do relevo utilizados para o processamento do mapa preditivo de solos no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP

Fonte: ANTONIO, 2017.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A coleta de amostras de treinamento foi realizada de acordo com a localização dos perfis de solos coletados para análises granulométricas e morfológicas para a identificação dos tipos de solos. Foram realizados testes de processamento com diferentes arquiteturas na classificação por RNA, no aplicativo ENVI 4.4, até a obtenção de resultado semelhante aos padrões encontrados por Fushimi (2012).

Para a coleta de amostras de treinamento uniforme, foram coletados, em média, a quantidade de 190 pixels para cada classe de solo. Na sequência, foram realizados testes com diferentes números de camadas de entrada para avaliar a influência das variáveis de entrada.

Para verificar a influência das variáveis de entrada e dos parâmetros da arquitetura da RNA, foram realizados testes utilizando o algoritmo de treinamento backpropagation variando o número de variáveis de entrada com 5, 4 e 3 camadas de entrada e o número de parâmetros da arquitetura das RNAs: modo de ativação logística (sigmoideal), contribuição limiar de treinamento (training threshold contribution), a taxa de aprendizado (training rate), a dinâmica de treinamento (training momentum), critério de saída EMQ – erro médio quadrático – de treinamento (training RMS exit criteria), número de camadas ocultas (number of hidden layers) e número de iterações de treinamento (number of training iterations).

3. Resultados e discussões

Os testes foram realizados com o algoritmo de treinamento backpropagation para RNAs multicamadas, alterando-se a quantidade de camadas de entrada e a sua topologia/arquitetura. O melhor resultado da classificação com RNAs foi obtido com 4 camadas de entrada e 1 neurônio na camada oculta, e variações dos parâmetros de treinamento.

Não há critérios específicos para a definição do número de neurônios na camada oculta, porém uma quantidade reduzida de neurônios pode apresentar maior nível de generalização. Para os testes realizados, os melhores resultados foram obtidos com 1 camada oculta e variações nos outros parâmetros.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Os resultados obtidos apresentaram distribuição dos tipos de solos hidromórficos associados às áreas de fundo de vale, próximas ao leito dos rios e com baixas declividades; os Latossolos estão associados às áreas de topos, com baixas declividades e perfil de curvatura retilíneo; os Argissolos, predominantes no município, estão associados às áreas de baixa declividade, porém localizados nas altas vertentes; e os Neossolos estão principalmente relacionados às áreas de altas declividades e médias vertentes, conforme apresentado na Figura 5.

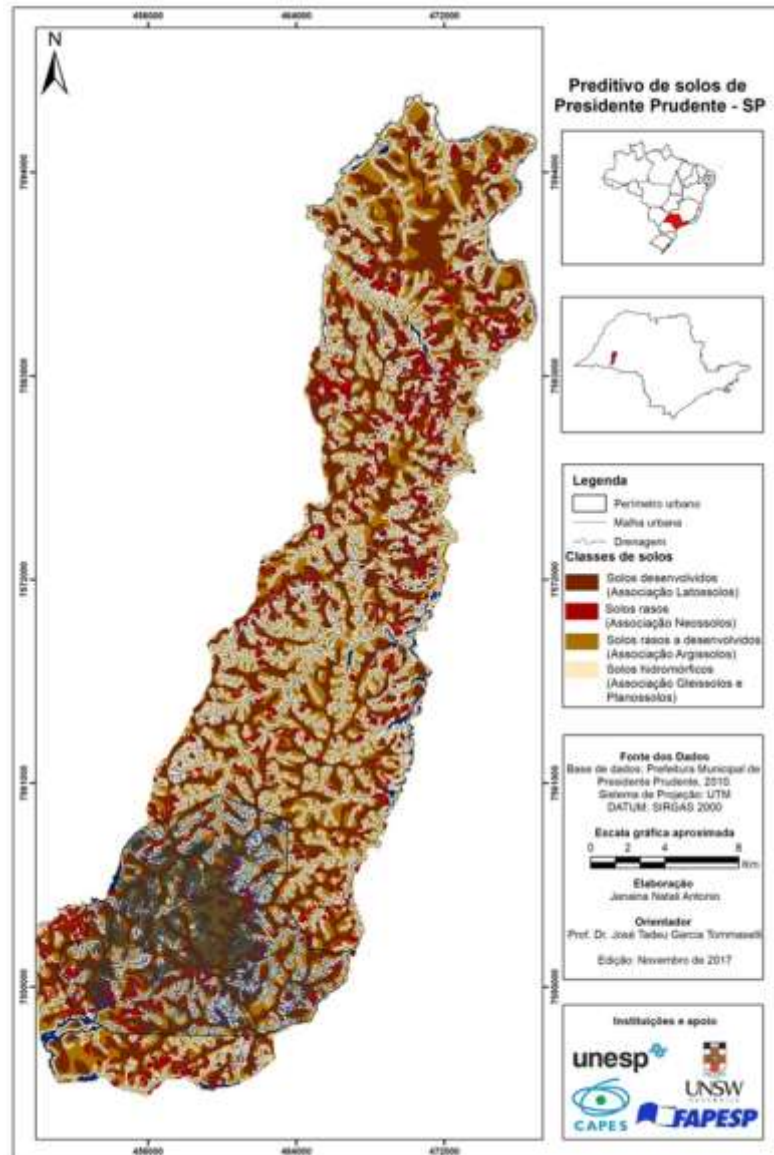


Figura 5 - Mapa preditivo de solos do município de Presidente Prudente – SP

Fonte: ANTONIO, 2017.

Após os testes de avaliação das variáveis de entrada, os melhores resultados foram obtidos depois da retirada da variável elevação, sendo que o melhor resultado foi obtido com 4 variáveis de entrada. Entre eles, tiveram destaque a declividade e as geoformas, apresentando similaridade de padrão de



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ocorrência. A ocorrência dos Neossolos está, principalmente, relacionada às declividades de 20% ou acima. Os Latossolos nas áreas com declividades inferiores a 8% e os solos hidromórficos nos fundos de vale, em declividades abaixo de 3%, e os Argissolos variam em declividades acima de 3% e abaixo de 20%, devido ao predomínio do material de origem.

4. Considerações

A utilização de atributos do relevo associada ao uso de RNA apresentou resultados promissores que podem facilitar o mapeamento de solos, principalmente em relação aos custos e ao tempo demandado na forma tradicional. A metodologia pode ser aperfeiçoada com o uso de material cartográfico com maior resolução espacial, aumento no número de amostras coletadas em campo, bem como a inserção de mais camadas de entrada e de amostras para o processamento das RNA.

Os mapeamentos preditivos de solos podem ser utilizados para a comparação entre as possíveis características naturais no passado, com as presentes e também na criação de cenários futuros, a partir da combinação de características e processos atuantes. Também podem ser úteis na identificação de solos em áreas urbanas, onde devido às alterações antrópicas não podem ter suas características identificadas, da maneira tradicional.

Agradecimentos

Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo – FAPESP pelo financiamento da pesquisa, processo – FAPESP: 2013/03505-6.

5. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. A. de; STEIN, D. P.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C. A.; PONÇANO, W. L.; HASUI, Y.; ALMEIDA F. F. M. de. 1980b. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. *Anais... Congresso Brasileiro de Geologia*, 31. Camboriú, 1980. *Anais... Camboriú, SBG*. v. 5, p. 2799-2812.

ANTONIO, J. N. **Classificação de Antropossolos em áreas de antigos depósitos de resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente – SP: contribuição metodológica.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2017.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ARRUDA, G. P. de, **Estratégias de mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais baseado na relação solo-paisagem**. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de Mar de Morros**. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013.

EVANS, J. ArcGis geomorphometry e gradient metrics. In: **Quantitative methods in spatial ecology**. Disponível em: <http://evansmurphy.wix.com/evansspatial#!arcgis-gradient-metrics-toolbox/crro>, 2016.

FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; CARVALHO, A. C. P. L. F. **Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente - SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000**. vol. I, São Paulo: IPT, 1981.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2002.

LEMONS, R. C. de. e SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade Brasileira do Solo, 1996.

MaCMILLAN, R. A e PETTAPECE, W. W. **Soil landscape models: automated landscape characterization and generation of soil-landscape models**. Ottawa, Canada: Agriculture and Agri-Food Canada, 1997.

MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A., PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

WILSON, J. P. e GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. WILSON, J. P. e GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley e Sons, 2000.

RIBEIRO, S. R. A. **Integração de Imagens Landsat TM e dados auxiliares para a delimitação automática de unidades fisionômicas usando Redes Neurais Artificiais**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2003.

REUTER, H. I. E NELSON, A. Geomorphometry in ESRI Packages. HENGL, T. e REUTER, H. I. **Geomorphometry: Concepts, software, applications**. Developments in soil science, vol. 33, Elsevier, 2009.

ROSA, A. S. **Funções de predição espacial de propriedades do solo**. (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Estadual de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2012.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

SABO, L. A. **Análise da incerteza na representação de classes temáticas resultantes da aplicação de uma rede neural artificial.** Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais.** Tese (Doutorado em geologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VIEIRA, R.C. e ROISENBERG, M. **Redes neurais artificiais: Um breve tutorial**, Laboratório de Conexionismo e Ciências Cognitivas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

ZHU, A.; QI, F.; MOORE, A.; BURT, J. E. Prediction of soil properties using fuzzy membership values. **Geoderma**, v. 158, p. 199-206, 2010.