

VARIAÇÕES ESPACIAIS NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO EM ÁREA DE RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Rodrigo Esteves Rocha ¹, Marcelo Donadelli Sacchi ¹, Ludmila Vianna Batista ¹, Marcelo Dias Oliveira ¹,
Didier Gastmans ¹

¹ Universidade Estadual Paulista – Centro de Estudos Ambientais. Av 24A, 1515. Rio Claro (SP)
rodestroc@gmail.com; Link.mdsacchi@gmail.com; ludvbatista@yahoo.com; dias_oliveira@msn.com;
gastmans@rc.unesp.br

Palavras-Chave: Permeâmetro de Guelph; Recarga; Sistema Aquífero Guarani

INTRODUÇÃO

Face às variações climáticas, a escassez e o excesso de água alternam-se com frequência e intensidade anômalas em relação ao esperado da variabilidade interanual dos climas (Marengo, 2008). Logo, a informação científica é o embasamento necessário para a aplicação de técnicas adequadas em gestão ambiental, etapas do trabalho da geotecnia e agricultura. O conhecimento científico também pode fornecer previsões de comportamento da água, do solo, e da relação entre ambos (Almeida, 2005).

A condutividade hidráulica é uma propriedade básica do solo, e faz parte do conjunto de processos que definem o fluxo em sub-superfície (Soto & Vilar, 1999). Esta propriedade pode ser avaliada quantitativamente e determinada por ensaios de campo e laboratório. Ela indica a facilidade da água percolar através do solo (Gerscovich, 2011). O coeficiente de permeabilidade é um dado quantitativo e é influenciado principalmente pelo grau de saturação, já que existe uma relação direta no aumento da saturação com a percolação da água nos poros do solo (Soto, 1999). Um método de fácil aplicação para a medição quantitativa da condutividade hidráulica é o Permeâmetro de Guelph (PG), que envolve a medição da recarga líquida estática necessária para manter uma profundidade constante de água em um furo cilíndrico com fundo acima do nível freático (Reynolds & Elrick, 1986).

O objetivo do trabalho foi determinar a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em pequena bacia hidrográfica, comparando essas variações com aspectos fisiográficos em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo possui 41 km², e está situada na porção alta da sub-bacia do rio Jacaré-Pepira. Localizado na região central do estado de São Paulo, este rio nasce na Serra de Itaqueri a uma altitude aproximada de 960 m. Nesta pesquisa foram analisados os terrenos adjacentes às cabeceiras do rio, na zona rural do município de Brotas (SP). O rio Jacaré-Pepira faz parte da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, e esta constitui a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 13.

A UGRHI 13 apresenta como características gerais altas demandas de água para irrigação, média a alta susceptibilidade a erosão nas cabeceiras do Jacaré-Pepira e a inundações, principalmente nas áreas urbanas (CRH, 2006). As cabeceiras do rio Jacaré-Pepira estão localizadas no reverso do relevo de cuestas basálticas, onde são reconhecidos setores elevados de planalto, com níveis rebaixados por erosão e controlados estruturalmente (Bueno & Mendes, 1999). No relevo paulista, está inserida na Província da Depressão Periférica, Zona do Médio-Tietê (Almeida, 1964).

As litologias aflorantes são rochas sedimentares paleozoicas e mesozoicas, e intrusões de rochas básicas mesozoicas (Ross & Moroz, 1996), além de cobertura sedimentar cenozoica. As rochas sedimentares mesozoicas pertencem às Formações Piramboia e Botucatu, que são dominadas por fácies de arenitos eólicos. Seus afloramentos constituem importante zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Além disso, as rochas básicas mesozoicas são afloramentos locais da Formação Serra Geral, do Grupo São Bento.

METODOLOGIA

As estratégias de desenvolvimento foram divididas em duas etapas no projeto: a caracterização geomorfológica e a determinação da condutividade hidráulica do solo. A primeira etapa envolveu a junção e interpretação de dados planialtimétricos e de litologia, os quais podem ser obtidos tanto por revisão bibliográfica quanto por coleta de informações em campo. O contorno litológico foi adquirido dos dados vetoriais da plataforma Sistema de Geociências (GeoSGB, 2018) do Serviço Geológico do Brasil.

Para os métodos de determinação *in situ* da condutividade hidráulica do solo, os pontos de coleta devem estar espaçados entre si de uma distância aproximadamente igual, e de forma que a distância entre dois pontos seja grande o suficiente para que a análise em um ponto não cause influências no segundo. Além disso, os pontos devem ser escolhidos de forma a melhor representar a variação espacial do solo na área, portanto deve-se evitar grandes concentrações ou vazios no mapa. O equipamento do PG opera segundo o princípio do sifão de Mariotte, e a recarga do furo é obtida pela simples medição da taxa de diminuição do nível da água no permeâmetro. Por padrão escolheu-se fazer um furo no solo com a técnica de trado manual, cujas dimensões são de 3 cm de raio e 33 cm de profundidade.

O Permeâmetro utilizado é o modelo 2800K1 da Soilmoisture Equipment Corporation (2012b), que é posicionado na vertical com apoio de um tripé, sobre o furo feito com um trado manual. As especificações técnicas de preparo do aparelho foram seguidas conforme exigido pelo manual do modelo. Os valores de referência para cada teste foram anotados em uma planilha, e utilizados para fazer as contas com base na planilha automática da Soilmoisture Equipment Corporation (2012a). Os cálculos foram feitos com base no método de duas cargas quando possível, no entanto em alguns pontos foi necessário o uso da média entre duas cargas simples.

O mapa de variação da condutividade hidráulica (Figura 2) foi confeccionado segundo a técnica da Krigagem, com base no método dos Vizinhos Naturais. Este método foi escolhido pois existe uma forte correlação entre o valor de um ponto com o de seus vizinhos mais próximos. Foi feita uma transformação logarítmica dos dados, de forma automática pelas ferramentas do *software* ArcGIS (ESRI, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise espacial da bacia com base no mapa confeccionado (Figura 1) e nas observações de campo permitiu a conclusão de que a área está sob controle estrutural característico de bacia sedimentar. As partes mais baixas da bacia são compostas por colinas suaves definidas aos lados por desenvolvimento de drenagens de pequena ordem. As partes mais alta da bacia corresponde ao reverso do relevo de cuevas basálticas que marca a evolução da erosão na borda da Província da Depressão Periférica no estado de São Paulo.

Houve correspondência entre a compartimentação litológica da área e os tipos de solo encontrados em campo. A Formação Serra Geral, localmente representada por soleiras de composição basáltica, gerou solos mais argilosos que ocorrem no topo das serras. As formações Botucatu e Piramboia, localmente representadas por arenitos, geraram solos mais arenosos, que ocorrem nas colinas suaves nos níveis mais baixos. Conforme observado no mapa da Figura 2, há associação direta da disposição das litologias e seus solos característicos com a ordem de grandeza dos valores da condutividade hidráulica. Há correlação entre solos argilosos e valores baixos de condutividade hidráulica, da ordem de centésimo de milésimo a milionésimo cm/seg. O mesmo ocorreu com os solos arenosos, que apresentam valores elevados de condutividade hidráulica, da ordem de milésimo a décimo de milésimo cm/seg.

O estudo da variabilidade da condutividade hidráulica em uma microbacia hidrográfica é uma das etapas na análise e interpretação dos fatores controladores do fluxo de água. Com os resultados obtidos nesta pesquisa, se conclui que o método do Permeâmetro de Guelph apresenta resultados favoráveis, com aplicabilidade no reconhecimento dos diferentes tipos de solo que ocorrem na área. Como sugestão para futuras pesquisas poderia ser feito um maior aprofundamento nos outros aspectos que permitem a interpretação quantitativa do fluxo em subsuperfície.

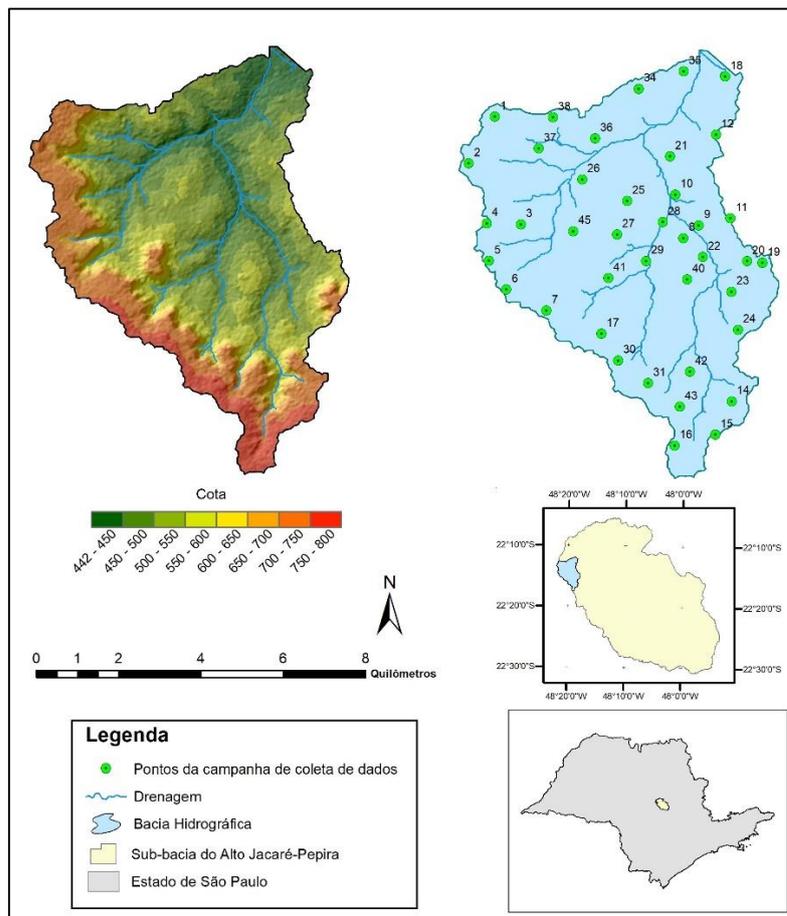


Figura 1. Modelo Digital de Elevação da microbacia de estudo e mapa de pontos de coleta de dados.

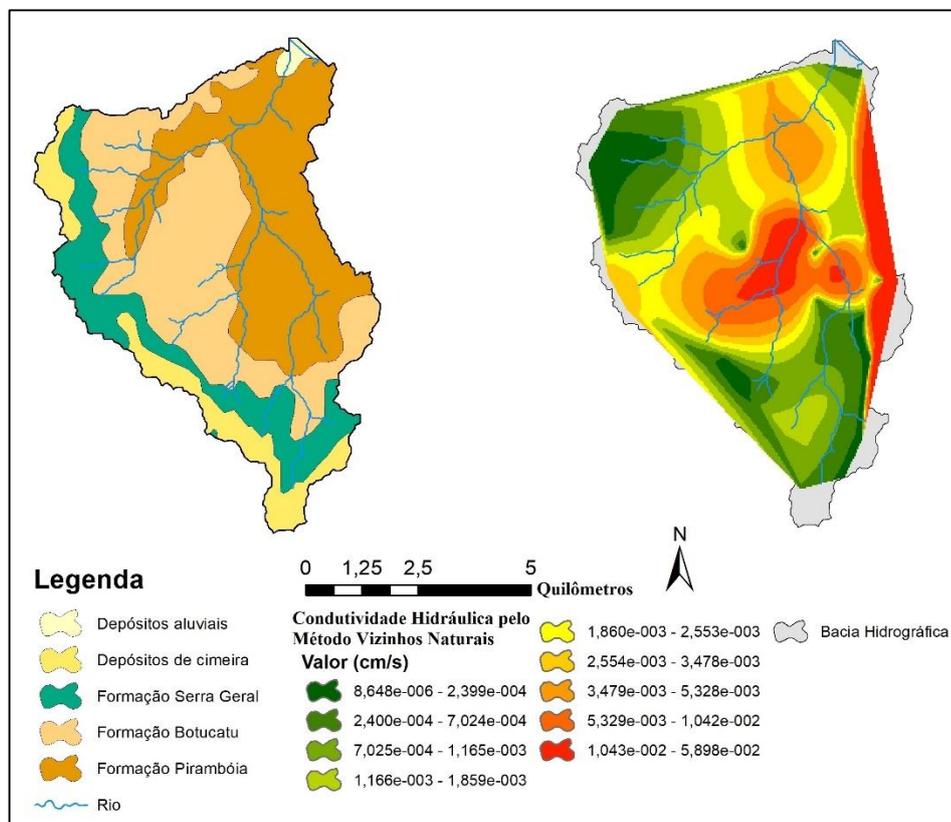


Figura 2. Mapa litológico da área de estudo. (GeoSGB, 2018). Mapa da variação da condutividade hidráulica na área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto Geográfico Geológico**, v. 41, p. 167-263, 1964.
- ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização física e classificação dos solos**. Apostila didática, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2005.
- BUENO, C. R. P.; MENDES, I. A. Análise geomorfológica da bacia do Jacaré-Pepira (SP). **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, n. 6, p. 61-77, 2006. ISSN 2179-0892.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, CRH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004 / 2007** (Resumo). São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), 2006.
- ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.
- GEOSGB – Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil. 2018. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso em 04 janeiro 2018.
- GERSCOVICH, D. M. S. **Fluxo em Solos Saturados**. Apostila didática, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.
- REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A Method for Simultaneous In Situ Measurement in the Vadose Zone of Field-Saturated Hydraulic Conductivity, Sorptivity and the Conductivity-Pressure Head Relationship. **Groundwater Monitoring & Remediation**, v. 6, n. 1, p. 84-95, 1986.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 10, p. 41-58, 1996. ISSN 2236-2878.
- SOILMOISTURE EQUIPMENT CORPORATION. Guelph Permeameter K-sat Calculator. Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA. 2012a. Disponível em: <<https://www.soilmoisture.com/resources/Product-Calculators-and-Apps/>>. Acesso em: 04 dezembro 2017.
- SOILMOISTURE EQUIPMENT CORPORATION. Model 2800K1 Guelph Permeameter Operating Instructions. Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA. 2012b. Disponível em: <https://www.soilmoisture.com/pdfs/Resource_Instructions_0898-2800_2800K1%20Guelph%20Permeameter%20.pdf>. Acesso em: 04 dezembro 2017.
- SOTO, M. A. A. **Estudo da condutividade hidráulica em solos não saturados**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- SOTO, M. A. A.; VILAR, O. M. Estudio de la conductividad hidráulica en suelos no saturados. In: 11 PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 1999, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** São Paulo: ABMS/ISSMGE, 1999. p. 921-928.