

DINÂMICA DO ESCOAMENTO EM ÁREAS DE RECARGA DE NASCENTES NA REGIÃO SERRA DA MANTIQUEIRA, MG

ALISSON SOUZA DE OLIVEIRA¹, ANTÔNIO MARCIANO DA SILVA, CARLOS ROGÉRIO DE MELLO³

¹ Eng^o Agrônomo, Doutor, Universidade Federal de Lavras- MG, Departamento de Engenharia Agrícola – Setor Engenharia de Água e Solos alissonso@hotmail.com

² Eng^o Agrônomo, Prof. Titular Dr, Universidade Federal de Lavras- MG, Departamento de Engenharia Agrícola – Setor Engenharia de Água e Solos marciano@deg.ufla.br

³ Eng^o Agrícola, Prof. Dr, Universidade Federal de Lavras- MG, Departamento de Engenharia Agrícola – Setor Engenharia de Água e Solos crmello@deg.ufla.br

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: A dinâmica do escoamento de quatro nascentes inseridas na região Serra da Mantiqueira - MG foi avaliada em associação à área de recarga, ao relevo, à cobertura vegetal e aos atributos físico-hídricos do solo. Para tanto, realizou-se o monitoramento das vazões, o cálculo do deflúvio e da vazão específica e a modelagem da vazão no período de depleção segundo “Maillet”. O porte da área de recarga, os atributos físico-hídricos do solo e cobertura vegetal influenciaram os indicadores do regime de escoamento das nascentes. O porte da área de recarga contribuiu positivamente para os indicadores vazão média e deflúvio em volume e o grau de regularização do regime do escoamento (nascentes L4 e L1), a nascente sob a menor área de influência apresentou os piores valores para estes indicadores (nascente L3). O efeito da cobertura vegetal (nativa e plantada), associado aos dos atributos físico-hídricos do solo, foi evidenciado pelos indicadores deflúvio em lâmina e rendimento específico que independem da área de recarga (nascentes L4 e L2). A interação porte de área, atributos físico-hídricos do solo e cobertura vegetal sob mata (nativa e plantada), gerou os melhores valores para todos os indicadores do regime escoamento das nascentes (nascente L4).

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento base, Regime de escoamento, Nascentes.

FLOW DYNAMICS IN SPRINGS RECHARGE AREAS IN THE REGION SERRA MANTIQUEIRA, MG

The flow dynamics four springs inserted in the Mantiqueira Mountain Range region (MG), was evaluated in association with the recharge area, the relief, the vegetation and physical-hydric soil attributes. Therefore, we carried out the monitoring of flows, the calculation of runoff and specific flow and flow modeling in the depletion period under "Maillet". The size of the recharge area, the physical and hydraulic properties of the soil and vegetation cover influenced the indicators of the flow regime of the springs. The size of the recharge area contributed positively to the average flow indicators and flow volume and the degree of regularization of the flow regime (L4 and L1 springs), the source in the lower area of influence showed the worst values for these indicators (east L3). The effect of vegetation (natural and planted), associated with the physical-hydric soil attributes, evidenced by runoff indicators blade and specific yield that are independent of the recharge area (L4 and L2 springs). The interaction sized area, physical and hydraulic properties of the soil and vegetation under forest (natural and planted) generated the best values for all indicators of the system flow the springs (spring L4).

KEYWORDS: Flow basis, Flow regime, Springs.

INTRODUÇÃO: A qualidade e quantidade da água das nascentes podem ser alteradas por diversos fatores, destacando-se o tipo de solo, seus atributos físico-hídricos, seu uso, a cobertura vegetal e a declividade, principalmente das áreas de recarga, pois influenciam no armazenamento da água e no regime do escoamento da nascente e dos cursos d'água (PINHEIRO, et al. 2011; PINTO et al. 2004). Segundo Cortines (2008) as áreas de recarga ou as zonas hidrogenéticas são caracterizadas pelas zonas de captação, transmissão e afloramento. Na zona de captação prevalece o processo de infiltração em relação ao escoamento superficial, já na zona de transmissão o escoamento superficial é quem predomina, e por fim, a zona de afloramento é onde ocorre a surgência da nascente. Pires e Santos (1995) salientam que a ausência da cobertura vegetal resulta na redução da infiltração de água no solo e do estoque de água subterrânea, influenciando o padrão de vazões e volume do escoamento, além de contribuir para o aumento da erosão e assoreamento dos corpos d'água. Ainda com relação aos aspectos relacionados ao solo, deve-se considerar o papel da vegetação sobre alguns atributos físico-hídricos, com conseqüente reflexo na dinâmica da água. Schuler (2003), estudando a influência de diferentes tipos de vegetação em microbacias no estado do Pará, observou redução na condutividade hidráulica e na porosidade do solo sob pastagem, em relação à floresta, proporcionando aumento do escoamento superficial. Nesse contexto se insere o levantamento pedológico, que fornece bases para agrupar solos que têm funcionalidade semelhante. Deste modo, a caracterização do meio físico das bacias hidrográficas em especial das áreas de recarga das nascentes, com o intuito de identificar os aspectos críticos associados à manutenção da água, são condições básicas para o sucesso do planejamento da conservação e geração de escoamento.

MATERIAL E MÉTODOS: As nascentes estudadas denominadas, L1, L2, L3 e L4 situam-se na bacia do Ribeirão Lavrinha (Figura 1), que se localiza no município de Bocaina de Minas - MG, entre as coordenadas UTM 554105 e 557145 de longitude W e 7553647 e 7552021 de latitude S, altitudes entre as 1144 e 1739 m e área de drenagem de 6,87 km², sendo considerada uma bacia hidrográfica de cabeceira (JUNQUEIRA JÚNIOR, 2006). Yanagi (2008) classificou preliminarmente o seu clima, como ArB₂a', sendo que a temperatura média no mês mais quente e no mês mais frio são 19°C e 11°C, respectivamente, com ocorrência de geadas. A bacia hidrográfica em questão é representativa dos ambientes associados aos Cambissolos da região da Serra da Mantiqueira no Alto Rio Grande, tendo sido escolhida para realização de estudos hidrológicos associados à produção de água subterrânea por Menezes (2009). As áreas de recarga das nascentes L1 e L2 apresentam o domínio do Cambissolo CX A fraco forte ondulado, já, as áreas de recarga das nascentes L3 e L4 o Cambissolo CX A moderado forte ondulado.

Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavrinha

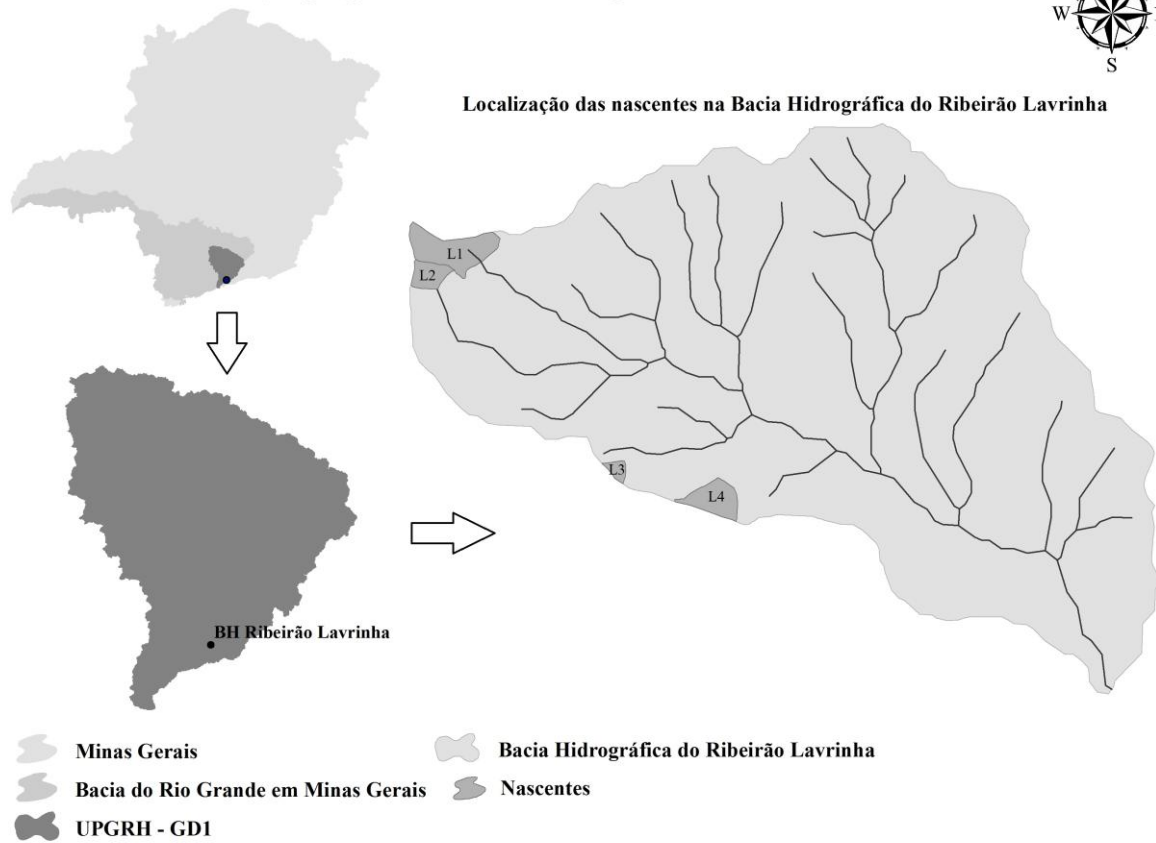


FIGURA 1 Localização das nascentes dentro da bacia do Ribeirão Lavrinha, da UPGRH- GD1, e do Estado de Minas.

TABELA 1 Distribuição das classes de solos, uso predominante e atributos físico-hídricos do solo na área de recarga das nascentes.

	NASCENTES			
	L1	L2	L3	L4
Classe de Solos*	Cambissolo CX A fraco forte ondulado		Cambissolo CX A moderado forte ondulado	
Área Recarga (ha)**	7,24	2,43	0,87	5,14
Classes de Relevô**	Distribuição das classes de relevô por nascente%			
Fortemente montanhoso (>75%)	0,1	0,0	11,6	2,6
Montanhoso (45-75%)	10,9	24	23,8	20,8
Fortemente ondulado (20-45 %)	67,2	57,3	29,9	62,0
Ondulado (8-20%)	19,5	17,2	28,9	13,0
Suavemente ondulado (3-8%)	1,6	1,5	5,3	1,4
Plano (0-3%)	0,7	0,0	0,5	0,2
Declividade média (%)	28,7	33,9	38,5	37,1
Uso predominante (%)**				
Pastagem	92,9	32,9	99	45,4
Samambaia	6,9	0	0	0
Mata	0,2	67,1	1	31,4
Eucalipto	0	0	0	23,2
Atributos Físico-Hídrico***				
VTP (%)	52	55	57	54
μ (%)	31	30	34	32
K ₀ (m/dia)	0,4	0,3	1,1	1,05
MO (%)	3,6	3,6	5,8	4,6

Fontes: * Menezes (2009); ** Silva (2009); *** Junqueira Júnior (2006).

Para o monitoramento da vazão e caracterização do regime de escoamento, a vazão foi quantificada utilizando-se de medidor de vazão modelo WSC Flume, com frequência aproximadamente quinzenal, no período entre outubro de 2009 e outubro de 2010, sendo que, sempre, a vazão medida correspondeu ao escoamento de base (surgência da nascente), ou seja, não houve contribuição do escoamento superficial direto. Para cada nascente e no período de abril a setembro (início e fim do período de seca), foi estimada a equação de decaimento das vazões, Equação (01) conforme “Fórmula de Maillet” (CASTANY, 1967), ajustando-se os coeficientes com o emprego da ferramenta SOLVER – Excell® e opção, método de Newton Raphson, e para verificar a qualidade do ajuste o coeficiente de determinação (R²).

$$Q_t = Q_{t_0} \cdot \exp[-\alpha \cdot (t - t_0)] \quad (01)$$

em que Q é a vazão (L³T⁻¹) da nascente; α é o coeficiente de recessão (T⁻¹), representa a taxa de decaimento da vazão com o tempo, t₀ é o dia Juliano correspondente ao início do período de depleção do escoamento subterrâneo e t é o dia Juliano para o qual se deseja estimar a vazão, sendo que t >= t₀.

O cálculo do deflúvio foi realizado com a série histórica obtida do monitoramento das nascentes, calculou-se pela integração numérica os deflúvios base, entre o período de outubro de 2009 à outubro de 2010. Foi também estimado um deflúvio médio das nascentes, pela ponderação com suas respectivas áreas de recarga, para permitir a análise comparativa, com o deflúvio de base da bacia do Ribeirão Lavrinha, o qual foi estimado pela separação do seu fluviograma anual, obtido com os dados de vazão monitorada na sua seção de controle (SILVA & MELLO, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Conforme apresentado na Tabela 1, os relevos das áreas de recarga se enquadram numa mesma classe, o que reduz a possibilidade de que o mesmo seja fator diferenciador do regime de escoamento das nascentes. Outro ponto a destacar é que as nascentes L1 e L2 apresentam a mesma classe de solo e possuem atributos físico-hídricos semelhantes, sendo que esta condição também se aplica às nascentes L3 e L4, portanto, no tocante a estes fatores, não há necessidade de se promover discussões entre estes pares de nascentes. Na Tabela 2 são apresentados os valores, do deflúvio base anual, da sua decomposição para o período de recarga e depleção, da vazão média diária e do rendimento específico (RE) médio anual, para cada nascente.

TABELA 2 Valores característicos do escoamento anual das nascentes.

Nascentes	Deflúvio base (Db)				Q média anual	RE médio anual
	Anual	Recarga	Depleção			
	(dam ³)	(mm)	(mm)	(mm)	(l.s ⁻¹)	(l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
L1	37,261	514,9	309,6	205,3	1,21	0,17
L2	15,283	630,0	423,8	206,2	0,49	0,20
L3	1,656	190,8	130,2	61,1	0,05	0,06
L4	55,310	1075,3	541,4	534,5	1,79	0,35

Analisando-se a Tabela 2, constata-se a influência da área de recarga no volume total gerado pelo escoamento (deflúvio) e na correspondente vazão média anual. Quanto maior a área de recarga, maior o deflúvio e a vazão média anual, com exceção da nascente L4, que apesar de apresentar a segunda maior área de recarga, apresentou valores maiores para os dois parâmetros analisados. Este fato, provavelmente esta ocorrendo devido a interação de dois fatores, os atributos físico-hídricos do solo bastante favoráveis à infiltração, e possuir grande parte de sua área de recarga coberta por mata (nativa e plantada) Tabela 1. Seguindo esta linha de raciocínio a nascente L3, embora apresente valores dos atributos físico-hídricos do solo semelhantes aos da L4, possui a menor área de drenagem e 99% de sua área está ocupada por pastagem, fatores que se integram para a redução do tempo de oportunidade para que ocorra a infiltração, e conseqüentemente a recarga do aquífero superficial, resultando nos menores valores para os indicadores do regime de escoamento. Por outro lado a nascente L1 que apresenta a maior área de recarga, possui atributos de solo com menor potencialidade para favorecer o processo de infiltração que se alia a uma cobertura vegetal predominantemente de pastagem que acentua a sua condição desfavorável em relação a nascente L4. Ao analisar os valores do deflúvio expresso em lâmina e do rendimento específico médio anual, que não são influenciados pelo porte da área de recarga, percebe-se que a nascente que apresentou o maior valor para estes parâmetros foi a L4, provavelmente pelos mesmos motivos já discutidos anteriormente. A nascente L2 apresenta o segundo maior valor, que ao ser comparado com o apresentado pela nascente L1, que tem na cobertura vegetal o fator diferenciador entre elas (67,1% de mata nativa na L2 e 0,2% na L1, Tabela 1), permite inferir ser o mesmo o determinante deste comportamento. Partindo-se para uma análise da decomposição do deflúvio, verifica-se que a nascente L4 apresentou a maior capacidade de regularização natural, visto que apresenta a relação deflúvio no período de recarga/depleção próximo de 50%, seguida das nascentes L1, L2 e L3, que é a mesma ordem decrescente das áreas de recarga das nascentes. Novamente aqui se destaca a influência do porte da área de recarga e a prevalência da

integração atributos do solo e cobertura sob mata atuando de modo a favorecer o processo de recarga. Resultados semelhantes foram encontrados por Menezes et al. (2009), que estudando duas nascentes na bacia em questão, cuja área de recarga apresentava o mesmo tipo de solo, verificou que a nascente cuja área de recarga estava sob domínio da Mata Atlântica, a vazão era mais estável durante o ano do que aquela que se encontrava sob pastagem. Pinto et al. (2004) encontraram maiores vazões nas nascentes com uso do solo sob mata nativa em relação às áreas de pastagem. Segundo os autores, a mata nativa propiciou uma maior infiltração das águas das chuvas no solo, com conseqüente recarga de aquíferos e alimentação das nascentes, reduzindo a parcela de água drenada diretamente para o leito dos rios. Destas discussões depreende-se a influência favorável da mata para o processo de infiltração e recarga de água no solo, mesmo para solos com diferentes atributos físico-hídrico, guardando relação com o relatado por Pinheiro et al. (2009), que solos sob reflorestamentos com *Pinus* apresentam capacidade de infiltração semelhante à mata nativa e superior ao solo sob pastagem. A infiltração em áreas florestadas tende a ser superior ao verificado em solos descobertos ou com uso agrícola (BRANDÃO et al. 2006), devido a cobertura vegetal ser permanente, recobrando a superfície do solo com serrapilheira (ANTONELI & THOMAZ, 2009). A Figura 2 e a Tabela 3 apresentam informações sobre as hidrográficas de depleção das vazões e respectivas equações, relação entre Q_t/Q_{t_0} e deflúvios estimados para cada nascente estudada. Com relação à vazão no início do período de recessão (Q_{t_0}) que reflete a influencia do período de recarga que o antecede, constata-se que os valores guardam relação direta com as áreas de recarga, excetuando o da nascente L4 que como já discutido apresentou maior capacidade de recarga em função da interação de seus atributos de solo e cobertura de mata. Em relação ao coeficiente de decaimento da vazão com o tempo (α), o comportamento segue a mesma lógica, porém em sentido inverso, incluindo também a excessão para a nascente L4. Neste caso o porte da área é também uma indicação do porte do reservatório a ser drenado pela nascente, e quanto maior ele for, maior será sua inércia, e, portanto, menores variações ao longo do tempo. Esta consideração se confirma ao analisar os valores da relação Q_t/Q_{t_0} cujo maior valor ocorrido na nascente L4 (0,230) significa que ao final do período de depleção a vazão é aproximadamente 30% da inicial, e está vinculado ao menor valor de α (0,0069 dia⁻¹). Opostamente a relação Q_t/Q_{t_0} apresenta seu menor valor para a nascente L3 (0,008) mostrando que ao final do período a vazão é apenas 2,3% da inicial, representando uma acentuada exaustão do volume do reservatório, e está vinculado ao maior valor de α (0,0216 dia⁻¹).

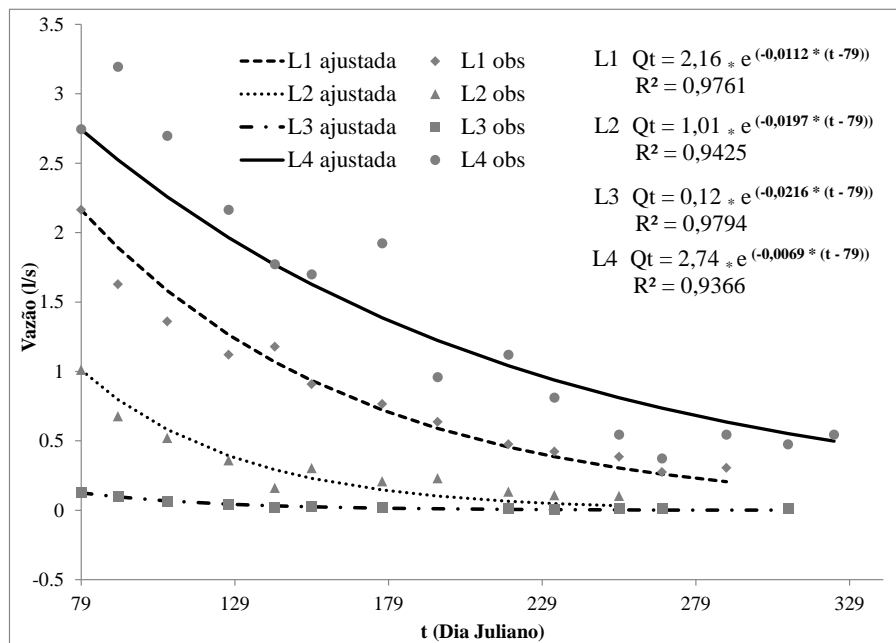


FIGURA 2 Curva de depleção das vazões das quatro nascentes estudadas.

TABELA 3 Parâmetros característicos do período de depleção.

Nascentes	α (dia ⁻¹)	$Q_{t0(20/03)}$	$Q_{t(16/10)}$	(Q_t/Q_{t0})	Deflúvio estimado (mm)
L1	0,0112	2,16	0,300	0,139	208,6
L2	0,0197	1,01	0,016	0,016	179,5
L3	0,0216	0,12	0,001	0,008	54,6
L4	0,0069	2,74	0,630	0,230	510,8

Os deflúvios para o período de depleção apresentados na Tabela 3, estimados com base nas equações geradas, quando comparados com os constantes da Tabela 2 mostram um ajuste adequado, pois o maior desvio entre os valores está na ordem de 13%.

CONCLUSÕES: Foi evidenciado o efeito do porte da área de drenagem, dos atributos do solo considerados e da cobertura vegetal nos indicadores do regime de escoamento das nascentes. O porte da área de recarga evidenciou sua influencia positiva sobre os indicadores vazão média e deflúvio em volume e sobre o grau de regularização do regime de escoamento (nascentes L4 e L1), a nascente sob a menor área de influência apresentou os piores valores para estes indicadores (nascente L3). O efeito da cobertura vegetal do solo na forma de mata (nativa e plantada), associado aos dos atributos do solo, foi evidenciado pelos indicadores deflúvio em lâmina e rendimento específico que independem da área de recarga (nascentes L4 e L2). A interação porte de área, atributos do solo e cobertura vegetal sob mata (nativa e plantada), gerou os melhores valores para todos os indicadores do regime escoamento das nascentes (nascente L4).

AGRADECIMENTOS: À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos essencial para o desenvolvimento do trabalho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANTONELI, V. & THOMAZ, E. L. Comparação de infiltração de água no solo mensurada em período seco e úmido, em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista, Guamiranga, Paraná. **Ambiência**, Guarapuava. v. 5, p. 301-318, maio/ago. 2009.
- BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120p
- CASTANY, G. *Traité pretique des eaux souterraines*. 2. ed. Paris: **Dunod**, 1967. 661p.
- CORTINES, E. **Funcionamento hidrológico de nascentes em microbacias instáveis, Barra de Guaratiba - RJ**. 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.
- COSTA, F. M. & BACELLAR, A. P. Caracterização Hidrogeológica de Aquíferos a Partir do Fluxo de Base. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Ouro Preto, v. 15, n.3, p. 173-183, jul./set. 2010.
- HILLEL, D. *Soil and water - Physical principles and process*. NY: **Academic Press**, 1971. 288p.
- JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. **Escoamento de nascentes associado à variabilidade espacial de atributos físicos e uso do solo em uma bacia hidrográfica de cabeceira do Rio Grande, MG**. 2006. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- MENEZES, M. D.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, julho 2009.

PINHEIRO, R. C., TONELLO, K. C., VALENTE, R. O. A. V., MINGOTI, R., SANTOS, I. P. Ocupação e caracterização hidrológica da microbacia do Córrego Ipaneminha, Sorocaba-Sp. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 234-245, julho/set. 2011.

PINTO, V.A.P.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. n.65, p.197-206, jun. 2004

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. dos. Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, São Carlos, v.19, n.10, p.4-45, 1995.

SCHULER, A.E. **Fluxos hidrológicos em microbacias com floresta e pastagem na Amazônia Oriental, Paragominas, Pará**. 2003. 119p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVA, L. A. **Regime de escoamento e recarga subterrânea de nascentes na região do Alto Rio Grande, MG**, 2009. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

USAE. Engineering and Design - Groundwater Hydrology. Washington: **Department of the Army. US Army corps of Engineers**, 1999. 90p.

YANAGI, S. M. N. Estruturação do banco de dados, análises e caracterização climática da região do Alto Rio Grande, MG. Lavras: **Relatório de Atividades apresentado à FAPEMIG**, 2008. 103p.