

Proposta de classificação de topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos: o caso de Belo Horizonte – MG

Miguel Fernandes Felipe – mestrando em Geografia e Análise Ambiental, IGC/UFMG; felippegeo@yahoo.com.br

Antônio Pereira Magalhães Jr. – Departamento de Geografia, IGC/UFMG; magalhaesufmg@yahoo.com.br

Abstract: This work presents a proposition of a qualitative classification of the tops as aquifer's recharge zones in Belo Horizonte-MG. The methodology was based on the natural behavior of the tops in the context of water processes of infiltration, percolation, storage and transmission. Furthermore, the human pressures of a metropolitan space were considered. It was constructed a matrix of eight environmental variables was made and the results show that the aquifer's recharge in Belo Horizonte is committed by the intense human occupation but also by the natural limitations of the environment.

Keywords: tops; aquifers recharge; environment; Belo Horizonte.

Resumo: Este trabalho apresenta uma proposta de classificação qualitativa dos topos como zonas de recarga de aquíferos em Belo Horizonte. A metodologia foi embasada no comportamento natural dos topos em relação aos processos de infiltração, percolação, armazenamento e transmissão de água. Além disso, as pressões humanas de um espaço metropolitano foram consideradas. Uma matriz de oito variáveis ambientais foi produzida e os resultados mostram que a recarga de aquíferos de Belo Horizonte está comprometida pela intensa ocupação humana, mas também pelas limitações naturais do ambiente.

Palavras-chave: topos; recarga de aquíferos; meio ambiente; Belo Horizonte.

1. Introdução

A eficiência das zonas de recarga de aquíferos está relacionada, sobretudo, à capacidade do ambiente em transferir água para a subsuperfície e à capacidade de armazenamento hidrológico dos aquíferos. Indubitavelmente, a infiltração é um elemento determinante para a recarga (Rebouças, 1999; Ward e Trimble, 2004), pois inicia o movimento descendente da água no solo. Todavia, sabe-se que é necessário que o fluxo seja contínuo até alcançar os aquíferos; o que se deve à percolação (Todd e Mays, 2005).

Por outro lado, as capacidades de armazenamento e transmissividade dos aquíferos são, também, determinantes para a recarga ao constituírem um fator limitante (Todd e Mays, 2005). Características litológicas, estruturais e estratigráficas promoverão comportamentos variados das rochas em relação à água subterrânea (Feitosa e Manoel-Filho, 1997; Freeze e Cherry, 1979).

As características climáticas, em princípio, também são importantes para a recarga de aquíferos. Todavia, esses elementos só podem ser avaliados para um instante, posto que cada evento terá um comportamento distinto em relação à recarga. Isso complexifica a inclusão da precipitação em análises de escala não-local. A eficiência das zonas de recarga,

então, relaciona-se à potencialidade de transferência da água superficial para os materiais que possuem capacidade de armazená-la em subsuperfície, em determinado evento chuvoso.

O objetivo deste trabalho é elaborar uma proposta metodológica de classificação de topos como zonas de recarga de aquíferos, em função de suas características ambientais. Como unidade espacial de estudo, foi escolhido o município de Belo Horizonte-MG. Parte-se do pressuposto que tal proposta deve ser qualitativa, baseada na comparação entre as zonas de recarga de um espaço pré-definido, pois cada conjuntura ambiental promoverá diferentes níveis de eficiência que só fazem sentido quando comparados uns aos outros.

2. Bases teórico-conceituais

As zonas de recarga de aquíferos são locais da superfície terrestre que possibilitam a infiltração e a percolação da água em direção a um sistema geológico capaz de armazenar e distribuir águas. Não obstante, existem espaços que são mais eficazes na recarga dos aquíferos, os quais são chamados *preferenciais* (Felippe, 2007). A espacialização dessas zonas é determinada pelos fluxos subterrâneos. A movimentação da água em subsuperfície é das regiões de alto potencial hidráulico para as de baixo potencial, então, as zonas de recarga caracterizam-se por elevada energia potencial, contrariamente às zonas de descarga.

De uma forma geral, há três tipos de energia envolvidas nesses fluxos: de elevação, de pressão e de velocidade (Ward e Trimble, 2004). Tendo em vista que os aquíferos em Belo Horizonte são do tipo livre a semi-confinado (Costa, 2002; Beato, 2001; Silva *et al.* 1995), a energia de elevação é o principal fator de determinação das zonas de recarga. Por estarem em cotas altimétricas mais elevadas – energia de elevação – promovendo maior potencial hidráulico às águas infiltradas, pode-se afirmar, contudo, que os topos são zonas preferenciais de recarga de aquíferos (Felippe, 2007).

Sabendo-se que a infiltração, a percolação, a transmissão e o armazenamento são os principais processos na efetivação da recarga dos aquíferos, um primeiro esforço para a classificação é no sentido de definir os elementos do sistema ambiental mais importantes no condicionamento dos processos supracitados. Esse procedimento deve ser precedido um levantamento com o máximo de detalhe possível do quadro geográfico da unidade de estudo.

A capacidade de infiltração de um meio é determinada por uma conjuntura de elementos entre os quais se destacam as propriedades do solo, as características da cobertura superficial e a declividade do terreno (Coelho-Neto, 1998 *apud* Soares, 2005; Ward e

Trimble, 2004; Brandão *et al.* 2006). Quanto à percolação, está diretamente relacionada à infiltração, sendo que os mesmos elementos a condicionam (Ward e Trimble, 2004). Em termos da dinâmica hidrogeológica, esta é traduzida pelos processos de transmissão e armazenamento da água subterrânea. A diferenciação dos aquíferos se dá, então, em relação à sua porosidade/permeabilidade e capacidade de estocagem de água. No caso de Belo Horizonte, onde a importância do manto de intemperismo para a hidrogeologia é evidente, sua influência também devem ser considerada. Assim, características litológicas, como a granulometria da rocha, e estruturais, como a existência de falhas, fraturas, dobras ou qualquer outra descontinuidade, são ímpares para a determinação da transmissividade e armazenamento (Todd e Mays, 2005).

3. Proposta metodológica: cruzamento qualitativo de variáveis ambientais

A seleção das variáveis utilizadas para a classificação das zonas de recarga de aquíferos de Belo Horizonte respeitou critérios de seletividade, simplicidade e analogia (Christofolletti, 1999), bem como a disponibilidade dos dados. Assim, para a compreensão dos processos de infiltração e percolação, quatro variáveis foram selecionadas: morfologia do topo, cobertura superficial, proteção por parques e permeabilidade da camada superior do solo. Como aproximação aos processos de armazenamento e transmissão subterrânea, foram selecionadas as variáveis: potencial de água subterrânea, número de fraturas e contatos, espessura do manto de intemperismo e número de nascentes.

As informações dessas diversas fontes foram, então, compiladas e espacializadas. No *software* ArcGIS 9.0 foram geradas bases cartográficas digitais para cada um dos elementos selecionados. Posteriormente, houve um cruzamento dessas com a base das zonas preferenciais de recarga. Assim, foram identificadas as características ambientais em todos os topos de Belo Horizonte, possibilitando a organização de uma matriz.

Priorizando os aspectos qualitativos e comparativos, foi realizado um primeiro esforço de diferenciação das características ambientais dos topos em termos da contribuição para a realimentação subterrânea. A Tabela 1 apresenta síntese da qualificação das variáveis selecionadas, em função de sua contribuição para os processos envolvidos na recarga.

4. Classificação das zonas de recarga de aquíferos de Belo Horizonte

A classificação da eficiência das zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte, foi realizada a partir do cruzamento das variáveis selecionadas, qualificadas em termos de suas características. O procedimento utilizado foi atribuir os valores 2, 1 ou 0 à característica dos topos que se enquadrava, respectivamente, como “Bom”, “Razoável” ou “Ruim”.

VARIÁVEL / QUALIFICAÇÃO	BOM	RAZOÁVEL	RUIM
Morfologia do topo	arredondado	crista	
Cobertura Superficial	vegetada	semi-vegetada	ocupada
Proteção por parques	integral	parcial	ausente
Permeabilidade (geologia)	Formação Cercadinho	Grupo Sabará	Máficas e Ultramáficas de São Benedito
	Formação Cauê	Formação Gandarela	
	Formação Taboões	Formação Barreiro	
	Complexo Belo Horizonte	Formação Fecho do Funil	
Nº de nascentes	mais de 5	1 a 4	0
Profundidade do manto	superior a 40 metros	21 a 40 metros	inferior a 20 metros
Potencial de água subterrânea	alto	médio	baixo
Nº de fraturas	mais de 2	1	0

Dessa forma, foram priorizados procedimentos que permitissem uma classificação que diferenciasse as zonas de recarga em termos dos dois grupos de processos¹: infiltração/percolação e armazenamento/transmissão. Em um segundo momento, um novo cruzamento das informações produziu uma classificação geral da eficiência dessas zonas para a recarga dos aquíferos. Várias são as possibilidades de classificação. Entretanto, foi necessário realizar diversos testes de verificação da aplicabilidade das propostas. Após a comparação dos resultados, foi selecionada aquela mais adequada para a realidade das zonas preferenciais de recarga de aquíferos de Belo Horizonte.

Definido o modelo, o primeiro procedimento foi separar as variáveis em função dos grupos de processos. Com isso, para a infiltração/percolação foram selecionadas a morfologia do topo, a cobertura superficial, a permeabilidade e a proteção por parques; para o grupo de processos armazenamento/transmissão trabalhou-se com o número de fraturas e contatos, a espessura do manto, número de nascentes e o potencial de água subterrânea. Utilizando-se a soma simples dos valores atribuídos a cada variável, as zonas foram agrupadas em três faixas: “alta” – soma igual a 6, 7 ou 8 –, “média” – soma igual a 3, 4 ou 5 – e “baixa” eficiência – soma igual a 2, 1 ou zero.

Quanto aos processos de infiltração/percolação, 14 zonas de recarga foram classificadas de baixa eficiência, 126 de média e 17 de alta eficiência. Para os processos de

¹ O objetivo dessa primeira classificação foi o de facilitar a interpretação da classificação final pela separação dos processos estruturadores.

armazenamento/transmissão o cenário é bem diferente. As zonas de recarga de baixa eficiência quanto a esses processos totalizaram 104, sendo que 47 foram consideradas de média eficiência e apenas 6 de alta. Os Mapas 1 e 2 espacializam esses resultados.

O Mapa 1 mostra que a maior parte dos topos de Belo Horizonte possui média eficiência para a infiltração e percolação. No interflúvio das bacias do Arrudas e do Onça e em parte da Serra do Curral, na região Centro-Sul, as zonas de recarga são de alta eficiência, apresentando, mormente, a cobertura superficial de vegetação, com o reforço da proteção integral ou parcial. De forma geral, os topos da bacia do Isidoro apresentam média eficiência na infiltração e percolação. Destarte a cobertura vegetal ainda existente, a pequena profundidade do manto e a ausência de unidades de conservação prejudicam sua classificação.

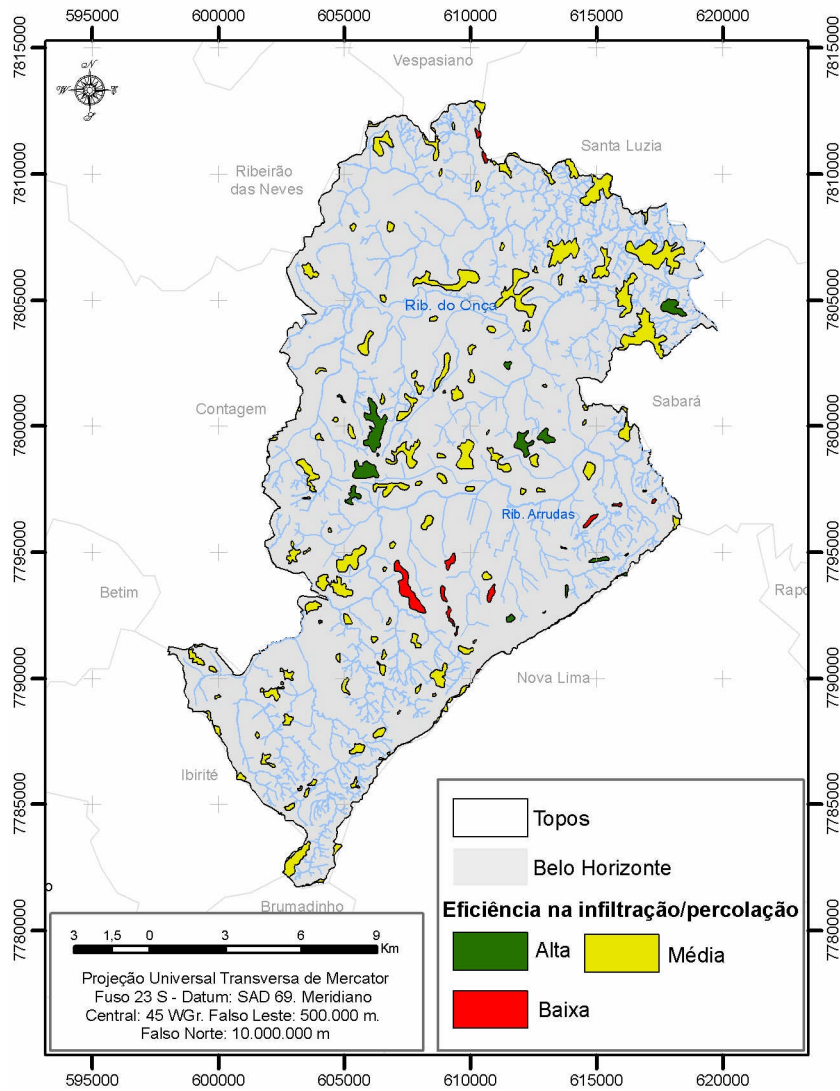
As zonas de recarga de baixa eficiência se encontram somente em duas regiões: no extremo norte e na área de abrangência do Grupo Sabará. Os primeiros são peculiares pois, além de estarem impermeabilizados, são embasados pelas rochas básicas e metabásicas de São Benedito. Na região centro-sul do município, o fator limitante da eficiência das zonas de recarga para a infiltração/percolação é, também, a geologia – Grupo Sabará – que promove a morfologia em crista e a baixa permeabilidade do solo.

No caso dos processos de armazenamento e transmissão de água subterrânea, o Mapa 2 apresenta uma distribuição espacial menos uniforme das classes. Sobressaem-se, na região do Barreiro, as únicas zonas de recarga de alta eficiência para esses processos. O destaque dessa região se deve ao alto potencial de água subterrânea associado ao grande número de descontinuidades físicas das rochas que embasam essas zonas de recarga. Somam-se a essas características as nascentes dos afluentes da margem direita do ribeirão Arrudas.

A grande maioria das zonas de recarga possui eficiência baixa para o armazenamento e transmissão. O principal motivo é o relativo baixo número de fraturas e contatos encontrados nos topos². O interflúvio das principais bacias belo-horizontinas aparece como uma região importante. Esses topos tendem a possuir espessos mantos de intemperismo, assim naqueles em que existem fraturas na rocha a eficiência é relativamente elevada. Da mesma forma, na bacia do Isidoro a maioria dos topos se também insere na classe média. Desta vez, a principal variável que contribui para tal classificação é o número de nascentes. Por estarem sobre um aquífero de elevado potencial e muito fraturado, os topos da Serra do Curral possuem classificação melhor que os circunvizinhos.

² Algumas distorções podem ser explicadas pela escala do mapa-base (CPRM, 2000) – 1:100.000 – utilizado.

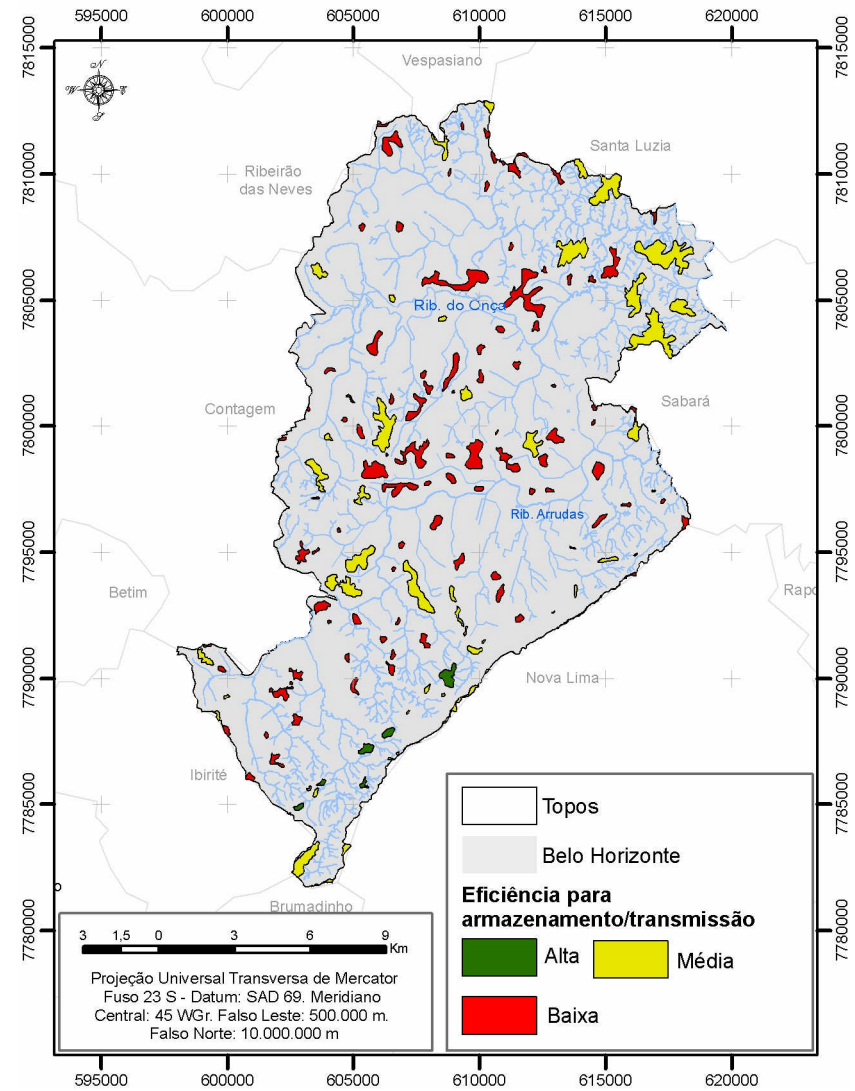
Classificação dos topos de Belo Horizonte quanto a eficiência na infiltração/percolação



MAPA 1: Classificação dos topos de Belo Horizonte quanto à eficiência na infiltração/percolação.

Fontes: base cartográfica IBGE (2000; 1979).

Classificação dos topos de Belo Horizonte quanto a eficiência para armazenamento/transmissão



MAPA 2: Classificação dos topos de Belo Horizonte quanto à eficiência para armazenamento/transmissão.

Fontes: base cartográfica IBGE (2000; 1979).

Um segundo passo, então, foi o de unir essas duas classificações em uma que abarque todos os processos e alcance a recarga subterrânea. As informações obtidas foram cruzadas tendo por modelo a Tabela 2. Finalmente, a classificação geral da eficiência das zonas preferenciais de recarga de aquíferos de Belo Horizonte pode ser apresentada. O Mapa 3 espacializa os resultados.

Tabela 2: Cruzamento das informações de eficiência nos grupos de processos para classificação final

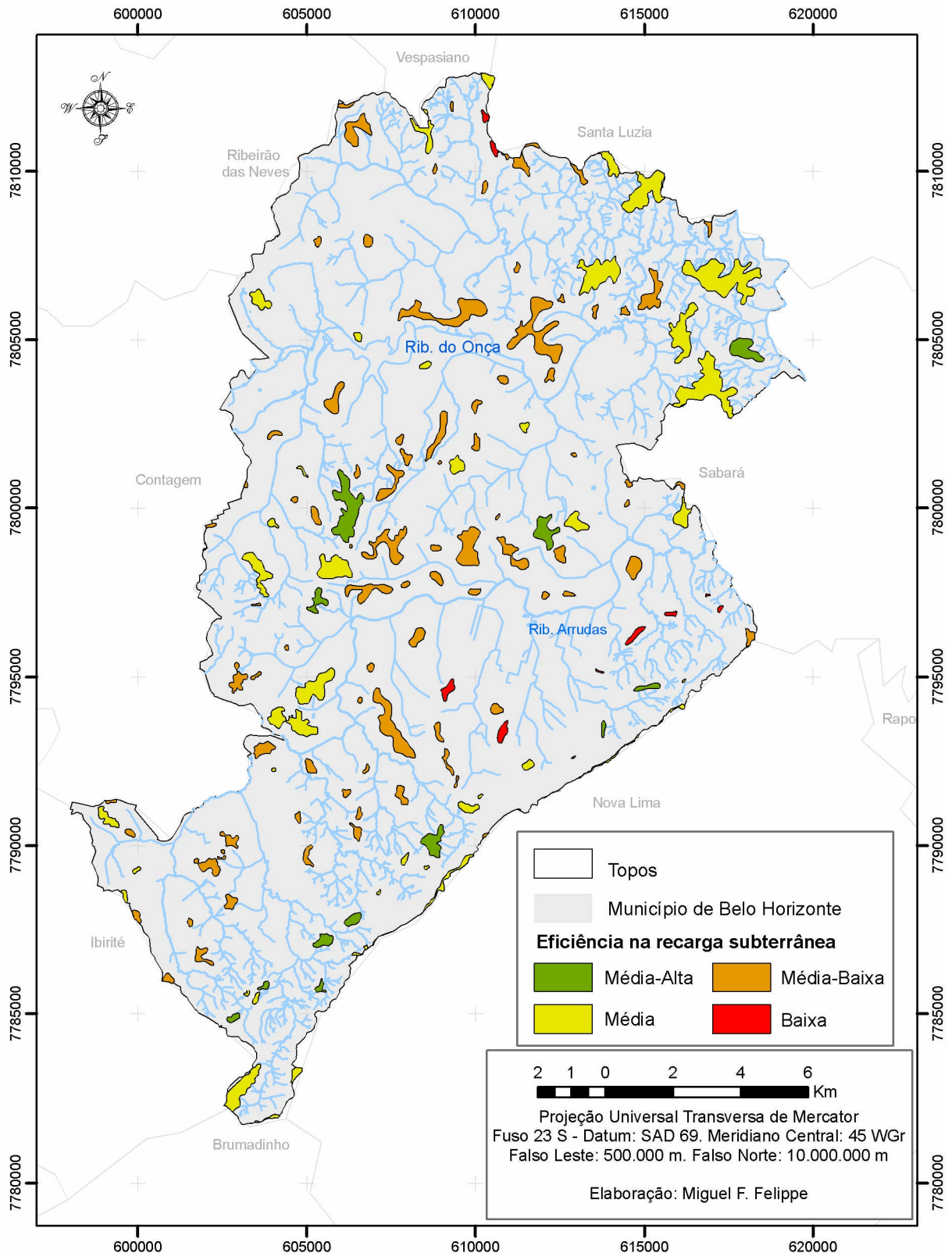
	Infiltração/Percolação		
	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta	Média-Alta	Média
Média	Média-Alta	Média	Média-Baixa
Baixa	Média	Média-Baixa	Baixa

Os resultados obtidos indicam que apenas nove zonas de recarga são consideradas de baixa eficiência; todavia, 89 são de média-baixa. Isso reafirma a idéia de que Belo Horizonte possui sua realimentação subterrânea comprometida. Na classe média, se encontram 47 zonas de recarga. A situação é agravada pelo baixo número de topos incluídos na classe média-alta – 12. Além disso, nenhum topo está incluído na classe de alta eficiência. De uma forma geral, as zonas de recarga que se encontram nas classes média e/ou alta para os processos de infiltração/percolação e/ou armazenamento/transmissão destacam-se como as de melhor eficiência. As serras do sul-sudeste do município apresentam um maior número de zonas de recarga – oito – de eficiência média-alta.

O interflúvio das bacias dos ribeirões Arrudas e Onça apresenta, em seu conjunto, três topos de eficiência média-alta. Essas zonas de recarga merecem destaque, pois estão inseridas em áreas de densa ocupação. Todavia as demais características contribuem para a recarga, sobretudo, o fato se inserirem, ao menos parcialmente, em áreas de preservação. Além disso, a grande área que essas zonas de recarga possuem amplia a importância destas para os processos hidrológicos.

Tendo em vista a ausência da classe alta, as zonas de recarga de média eficiência ganham importância. A bacia do Isidoro e as serras do Quadrilátero são as regiões que agregam o maior número de topos nessa classe. Ressalta-se que há contextos ambientais distintos entre essas regiões e que as características que promovem eficiência mediana a ambas são, também, diferentes: enquanto no Isidoro a cobertura superficial e o número de nascentes contribuem, nas serras o principal fator é o número de descontinuidades e o elevado potencial aquífero.

Classificação da Eficiência dos Topos como Zonas Preferenciais de Recarga de Aquíferos de Belo Horizonte



MAPA 3: Classificação da eficiência dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos de Belo Horizonte. Fontes: base cartográfica IBGE (2000; 1979).

A classe de eficiência média-baixa é a que possui o maior número de zonas de recarga, totalizando 89. Sua espacialização, contudo, é heterogênea, apresentando topos que obtiveram classificação baixa em pelo menos um grupo de processos. A maioria das zonas de recarga do interflúvio do Arrudas e do Onça se encontra nessa classe, da mesma forma que os topos das regiões da Pampulha e do Barreiro.

Por fim, nove zonas de recarga foram incluídas na classe de baixa eficiência, espacializando-se em duas regiões da capital: extremo norte e leste-sudeste. Ambos apresentam, como principal fator limitante, a permeabilidade das rochas. O primeiro grupo por estar embasado por metabásicas; o segundo devido às rochas do grupo Sabará. Coincidem nos dois grupos a ocupação urbana, mais uma vez minimizando a eficiência dessas zonas de recarga.

5. Considerações Finais

A classificação apresentada permite identificar, comparativamente, no espaço belo-horizontino quais zonas de recarga possuem melhor eficiência. Os resultados obtidos corroboraram com a idéia inicial de que havia um comprometimento significativo na recarga subterrânea pela ocupação urbana. Todavia, foi possível perceber que aspectos do meio natural também contribuem negativamente para o processo. As variáveis selecionadas que mais influenciaram para a classificação da maioria das zonas de recarga entre as faixas de média e baixa eficiência foram a cobertura superficial e o número de fraturas e contatos.

Os topos classificados de eficiência média-alta se concentram nas serras do Quadrilátero Ferrífero, no interflúvio das bacias do Arrudas e do Onça e um topo isolado na bacia do córrego do Isidoro. Por outro lado os de baixa eficiência se encontram no Serra Verde e na porção leste-sudeste do município, coincidindo com as rochas metabásicas de São Benedito e Grupo Sabará.

Acredita-se que a classificação das zonas de recarga de aquíferos em Belo Horizonte, tendo por base as potencialidades ambientais nos processos de infiltração, percolação, armazenamento e transmissão subterrânea, apresentou resultados satisfatórios em relação aos objetivos propostos. Seria de grande valia para a continuidade dos estudos, rever as variáveis selecionadas, possibilitando a inclusão de novos elementos do quadro ambiental ou mesmo a exclusão de alguns. A metodologia de Delphy também pode ser muito útil, inclusive na determinação de pesos e na elaboração de indicadores. Além disso, experimentos de campo poderiam complementar da matriz, assim como a verificação da possibilidade de aplicação dos procedimentos apresentados em outras unidades espaciais de estudo.

6. Referências

- Beato, D. A. C. (coord). (2001) **Estudo Hidrogeológico da Bacia da Pampulha: relatório final**. CPRM/PBH, Belo Horizonte.
- Brandão, V. S.; Cecílio, R.A.; Pouski, F.F. e Silva, D.D. (2006) **Infiltração da água no solo** (3ª ed.). Ed. UFV, Viçosa.
- Christofoletti, A. (1999) **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blucher, São Paulo.
- Costa, W. D. (2002) **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte – MG**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.
- CPRM – Serviço Geológico Do Brasil. (2000) **Carta geológica de Belo Horizonte**. Escala 1:100.000. CPRM.
- Feitosa F.A.C. e Manoel-Filho, J. (coord). (1997) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, LABHID-UFPE, Fortaleza.
- Felippe, M. F. (2007) **Espacialização e classificação dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos de Belo Horizonte – MG**. Monografia (graduação). Universidade Federal de Minas Gerais.
- Freeze, R. A. e Cherry, J. A. (1979) **Groundwater**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2000) **Atlas nacional do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1979) **Belo Horizonte**. Escala 1:50.000. IBGE, Rio de Janeiro.
- Rebouças, A. C. (1999) Águas subterrâneas. In: Rebouças, A.; Braga, B. e Tundisi, J. (org.). **Águas doces do Brasil**. Escrituras, São Paulo. p. 117-150.
- Silva, A. B.; Carvalho, E. T.; Fantinel, L. M.; Romano, A. W. e Viana, C. S. (1995) **Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte: projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte; relatório final**. FUNDEP/UFMG-IGC, Belo Horizonte.
- Soares, P. V. (2005) **As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas.
- Todd, D. K. e Mays, L. W. (2005) **Groundwater hydrology**. John Willey & Sons.
- Ward, A. e Trimble, S. (2004) **Environmental hydrology**. 2ª ed. Lewis Publishers, Boca Raton.