

Pressões humanas sobre as zonas de recarga de aquíferos em Belo Horizonte-MG: análise espaço-temporal da impermeabilização de topos a partir de técnicas cartográficas e de geoprocessamento

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 investigates the spatial consequences of the tops' urbanization processes in Belo Horizonte, using the urban area expansion through the last decades. The tops are conceived as preferential underground recharge zones. The environmental consequences of recharge zones' occupation are presented to spread the necessity of environmental protection in urban spaces. The methodology was based in cartographic information and satellite images by geoprocessing. Thus, the mapping of the urban expansion in the tops of Belo Horizonte is done. The results show that more than 70% of the top areas are already occupied, what influences directly the processes of infiltration and underground recharge.

Keywords: Tops; underground recharge; urban expansion; Belo Horizonte.

Resumo: O trabalho apresenta os reflexos espaciais do processo de impermeabilização dos topos de Belo Horizonte, a partir da expansão de sua mancha urbana ao longo das últimas décadas. Os topos são abordados como zonas preferenciais de recarga de aquíferos. As conseqüências ambientais da ocupação das zonas de recarga são explanadas de forma a sensibilizar sobre a necessidade de proteção ambiental no contexto urbano. A metodologia se baseou no cruzamento de informações cartográficas e imagens de satélite a partir de técnicas de geoprocessamento. Assim, o mapeamento da expansão urbana nos topos de Belo Horizonte foi realizado. Os resultados mostram que mais de 70% dos topos já se encontra ocupado pela mancha urbana, o que influencia diretamente os processos de infiltração e recarga subterrânea.

Palavras-chave: Topos; recarga subterrânea; expansão urbana; Belo Horizonte.

1. Introdução

Belo Horizonte é, definitivamente, uma metrópole. Esse termo, todavia, deve ser entendido como um conceito complexo que não se limita às questões demográficas e econômicas representadas em números, mas sobretudo se refere à sociedade, suas relações internas e com o meio, bem como as transformações do espaço.

Tratando-se dos impactos sobre a recarga dos aquíferos, a principal expressão espacial da metrópole que influencia as características naturais de infiltração é a mancha urbana. Sabe-se que o processo metropolitano é muito mais complexo que a expansão do domínio edificado ou ocupado. Nesse sentido o conceito de “tecido urbano” seria mais bem empregado por não se restringir à esfera material, envolvendo “o conjunto das manifestações de predomínio da cidade sobre o campo” (Lefebvre, 1999. p. 17). Todavia, há também em um trabalho geográfico a necessidade de espacialização dos fenômenos. Dessa maneira, a materialidade da metrópole, expressa na forma da ocupação urbana, é de suma importância.

A mancha urbana emerge, assim, como um importante aspecto metodológico que indica de forma geral a extensão da área impermeabilizada. Isso significa que nesses espaços edificados a infiltração da água no solo é prejudicada e, conseqüentemente, a recarga dos aquíferos. As zonas preferenciais de recarga de aquíferos, ao serem impermeabilizadas, deixam de cumprir sua função ambiental, alterando as características do ciclo hidrológico ao escoar superficialmente praticamente toda a chuva diretamente para os canais de drenagem.

A partir de métodos cartográficos associados ao geoprocessamento, este trabalho apresenta a evolução da impermeabilização do solo de Belo Horizonte, enfatizando a ocupação dos topos. Assim, objetiva-se espacializar esse processo e apresentar as possíveis alterações no ambiente metropolitano, em função da inibição da alimentação dos aquíferos, resultante da impermeabilização das zonas preferenciais de recarga das águas subterrâneas.

2. Espacialização da impermeabilização do solo de Belo Horizonte

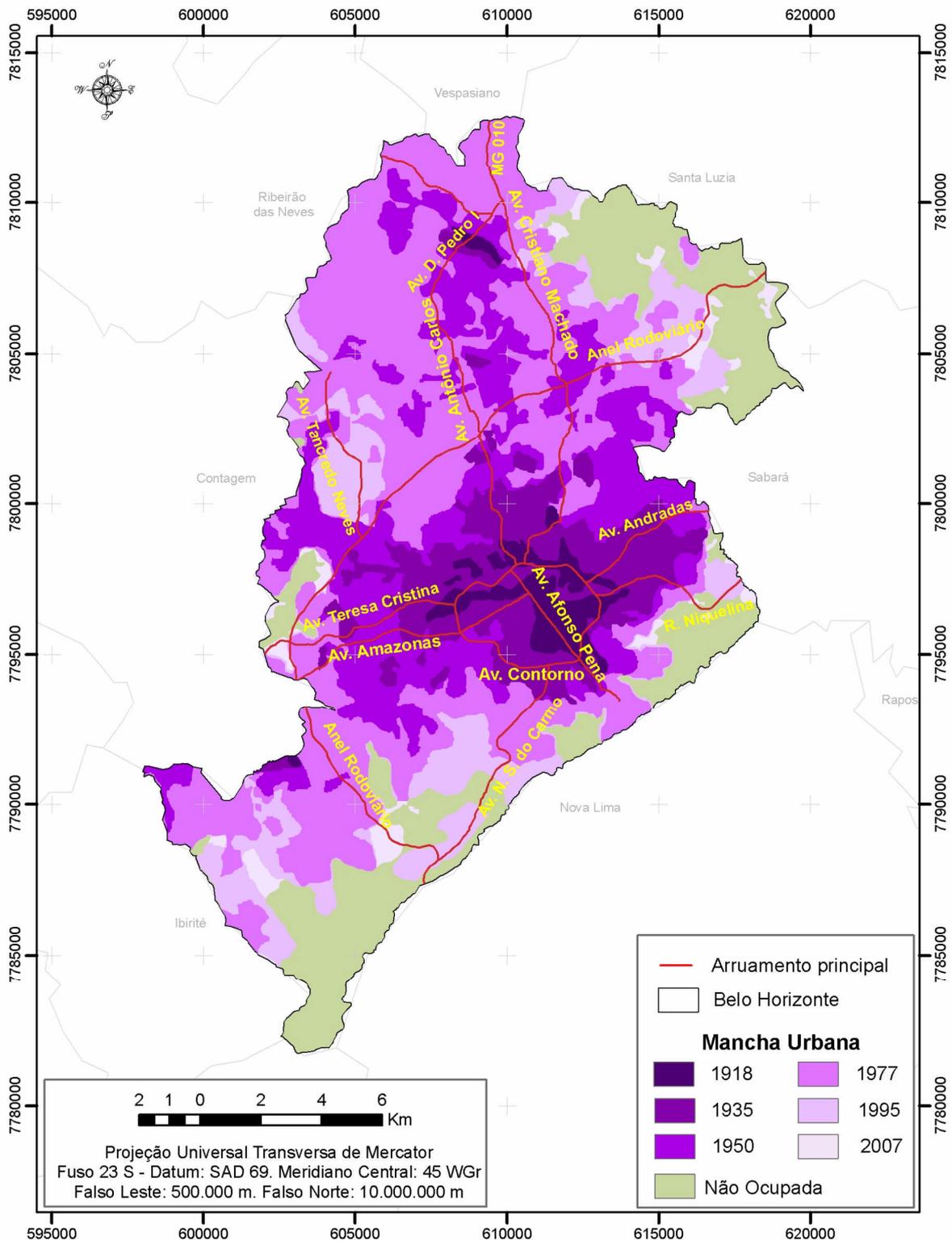
Ao palimpsesto urbano, novas camadas são sobrepostas a todo o momento (Harvey, 1995) de acordo com as necessidades de produção e acumulação. O espaço metropolitano, então, exponencializa as características da sociedade urbana, que nasce da indústria e corrói a vida agrária com a proliferação do tecido urbano, fruto da concentração econômica e demográfica (Lefebvre, 1999).

Esse processo, no entanto, possui representações concretas no espaço. Altera não somente as relações sociais e de produção, mas também as características ambientais locais e regionais. Desmatamento, canalização de rios e diversos tipos de poluição são apenas algumas das transformações que o espaço dito natural sofre em um contexto urbano-intustrial.

O plano inicial de Belo Horizonte previa uma ocupação ordenada a partir da “zona urbana” que avançaria em direção à periferia da avenida do Contorno. A expansão da ocupação do território de Belo Horizonte, todavia, respondeu não às lógicas urbanísticas. A mancha urbana já nas primeiras décadas apresentava-se desconexa, com regiões precariamente interligadas ao centro.

A interpretação do Mapa 1 permite uma aproximação da trajetória da ocupação urbana de Belo Horizonte, revelando suas direções principais e suas contradições. Tendo como fonte o Mapa de Evolução da Mancha Urbana (Belo Horizonte, 1995) e atualizado pela Imagem do Satélite CBERS 2 (CCD), Órbita/Ponto 155/122, de 27 de março de 2007.

Expansão da Mancha Urbana em Belo Horizonte 1918-2007



MAPA 1: Expansão da mancha urbana em Belo Horizonte 1918-2007. Fontes: BELO HORIZONTE, 1995; Imagem CBERS de 22/03/2007.

Percebe-se que a mancha urbana de Belo Horizonte possui um crescimento rápido, sobretudo no período de 1950 a 1977, em que a área ocupada atinge todas as regiões do município. A partir dessas datas, o crescimento é periférico e inferior ao ocorrido anteriormente. Todavia, esse aumento pouco significativo da mancha urbana representa um adensamento populacional e, conseqüentemente, intensificação do processo de impermeabilização do solo.

Em de 50 anos de história a ocupação urbana de Belo Horizonte era de pouco mais de 100 km². Em menos de duas décadas esse valor mais que dobrou, atingindo, em 1977, 232km². Todavia, praticamente nesse mesmo período, a população da capital quase triplicou, chegando a 1,78 milhões em 1980, evidenciando o adensamento populacional. Isso representa um adensamento populacional.

Contudo, os processos de expansão urbana, crescimento demográfico, adensamento urbano, segregação social e tantos outros acima relatados não podem ser entendidos fora da totalidade que os cerca. A ocupação das zonas preferenciais de recarga de aquíferos, responsável pela impermeabilização do solo e alteração nas condições hidrológicas locais, ocorre em concomitância com a expansão da mancha urbana, sendo apenas um dos inúmeros impactos na dinâmica hidrológica local.

4. Ocupação dos topos e alterações na dinâmica hidrológica: conseqüências ambientais

De uma forma geral, pode-se afirmar que o aumento da área urbanizada de Belo Horizonte aumenta, em concomitância, a área impermeabilizada, ou seja, onde a capacidade de infiltração de água no solo é diminuída a nula ou quase nula. Obviamente que não há uma coincidência precisa entre a mancha urbana e a impermeabilização do solo, posto que os jardins das casas, praças, parques, campos de futebol, entre outros, fazem parte do tecido urbano, mas não impedem a infiltração. Todavia, o adensamento populacional e de construções provoca a diminuição desses espaços de forma que, como um artifício metodológico, a mancha urbana pode ser utilizada como uma aproximação à área impermeabilizada.

Feita essa observação metodológica, o Mapa 2 apresenta a evolução da impermeabilização das zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte, a partir da ocupação urbana. Especialmente, há predominância de áreas urbanizadas em detrimento das não-ocupadas, sobretudo na porção central do território. Adicionalmente, a

diferença regional em termos de densidade de construções deve ser considerada, podendo ser utilizado como aproximação, o tempo de ocupação.

A urbanização provoca diversos impactos no ambiente. A crescente necessidade de refuncionalização do espaço gera uma demanda cada vez maior pelos recursos naturais, dentre eles, a água. Entendendo a natureza estando em constante movimento capaz de manter um equilíbrio dinâmico dos seus elementos, qualquer alteração não se restringirá apenas à esfera em que foi produzida, afetando, em maior ou menor escala, todo o ambiente.

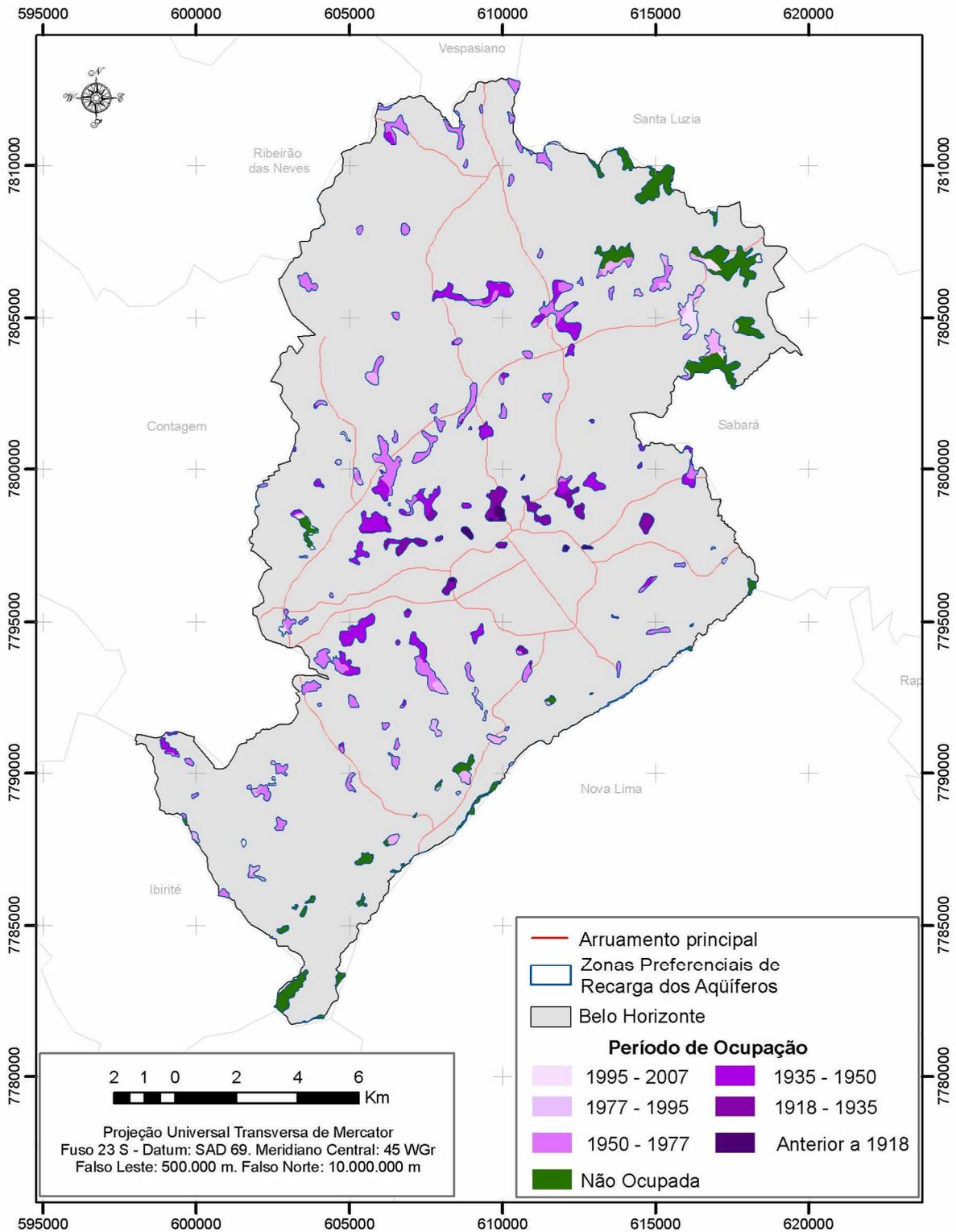
Genericamente, os impactos nos recursos hídricos provenientes do processo de urbanização estão relacionados ao aumento da densidade populacional e aumento da densidade de construções (Hall, 1986). O primeiro processo cria novas demandas que ampliando o volume de água retirada do sistema para o abastecimento. Com a utilização – urbana, agrícola ou industrial – a qualidade dos recursos hídricos é deteriorada (Hall, 1986).

O aumento da densidade de construções, por sua vez, aumenta a área impermeabilizada e modifica o sistema de drenagem. Como já foi dito, com a diminuição da infiltração o escoamento superficial direto se intensifica ocasionando a deterioração da qualidade das águas fluviais – devido ao carreamento de sedimentos – e prejudicando a recarga subterrânea, alterando as vazões das bacias. Por outro lado, a nova dinâmica de drenagem aumenta a velocidade do escoamento gerando tempos de concentração e recessão menores, tendo como consequência calamitosos picos de cheias (Hall, 1986).

Um dos processos do ciclo hidrológico, a infiltração da água no solo, é a condição primeira da recarga dos aquíferos. A partir desse processo, a água superficial torna-se subterrânea (Strahler e Strahler, 1992). Muitas são as variáveis que direta ou indiretamente interferem na capacidade de infiltração do meio (Brandão, *et al.*, 2006), desde condicionantes naturais – como a estrutura e granulometria do solo, tipo de vegetação, declividade, etc – até humanos – como o manejo do solo, desmatamento, etc. Todos esses fatores podem aumentar ou diminuir a capacidade de infiltração de um ambiente.

A ocupação urbana, baseada no asfalto e no concreto, tende cobrir a superfície com materiais impermeáveis ou pouco permeáveis. Assim, a água não entra em contato com solo, prejudicando a dinâmica hidrológica local ou regional (Porto, *et al.*, 2002). Entretanto, apesar do conhecimento de importância desse equilíbrio, pouco tem sido feito para melhorar as condições de infiltração, sobretudo em ambientes urbanos já consolidados, como é o caso de Belo Horizonte.

Impermeabilização dos Topos em Belo Horizonte



MAPA 2: Impermeabilização das zonas preferenciais recarga de aquíferos em Belo Horizonte. Fonte: BELO HORIZONTE, 1995; Imagem CBERS de 22/03/2007.

Com a infiltração reduzida a praticamente zero os únicos caminhos da água são escoar superficialmente ou retornar a atmosfera pela evaporação. Considerando que a vazão dos rios, sobretudo nos períodos de estiagem, depende da exfiltração das águas subterrâneas (Brandão, *et al.*, 2006), a própria dinâmica dos canais de drenagem fica alterada: há um grande fluxo de água no período úmido e uma vazão muito baixa na estiagem.

Nesse cenário, uma redução do nível freático pode ocorrer, o que prejudicaria os mananciais. Nas áreas a jusante da bacia hidrográfica, até mesmo o abastecimento pode ficar comprometido, sobretudo em espaços rurais onde este é realizado por cisternas, dependentes diretamente das águas menos profundas da zona saturada. Além disso, a redução constante do nível freático pode acarretar a migração de nascentes a jusante, ou mesmo no desaparecimento por completo delas.

Outro problema decorrente da impermeabilização é a contrapartida do primeiro: o aumento do escoamento superficial (Porto *et al.*, 2002; Hall, 1986). Primeiramente, a destinação das águas pela superfície pode gerar inundações nas margens dos canais ou em depressões. Em segundo lugar, o escoamento superficial é tido com um dos principais fatores que contribuem para os processos erosivos e de transferência gravitacional de massa (Guidicini e Nieble, 1984; Thomas, 1994; Fernandes e Amaral, 2000).

Como o escoamento é controlado pela força gravitacional, a água corre das áreas mais altas para as mais baixas. Dessa forma atingem diretamente os canais de drenagem com uma intensidade muito maior, tanto em quantidade como em velocidade. Para casos extremos, o pico da cheia pode chegar a ser 6 vezes maior do que em condições naturais (Porto, *et al.*, 2002). As enchentes tornam-se, então, comuns, o que em meios urbanos gera transtornos à população que reside nas planícies. Tratando-se de vulnerabilidade ambiental, as classes baixas são as mais susceptíveis a sofrer com esse tipo de problema (Umbelino, 2006).

Além das inundações, os processos desnudacionais também tendem a ocorrer em maior intensidade sob condições de escoamento superficial concentrado. A energia da água em escoamento desprende partículas do solo ocasionando erosão (Strahler e Strahler, 1992). A continuidade desse processo pode gerar uma considerável perda de solo, bem como ravinamentos, voçorocamentos ou mesmo desestabilização de taludes; colocando em risco, novamente, a população.

Os movimentos de massa, por sua vez, podem ser estimulados tanto pela perda de sustentação de taludes a partir de processos erosivos, como pelo encharcamento do solo em

locais específicos. No primeiro processo, o escoamento superficial promove a erosão do sopé de taludes que perdem a sustentação e cedem (Guidicini e Nieble, 1984). O segundo ocorre quando devido à impossibilidade de infiltração na maior parte da superfície urbana, a água se concentra em alguns locais ainda permeáveis. Com isso há o encharcamento do solo o que gera o aumento do seu peso e, simultaneamente, a perda da coesão entre os agregados, gerando deslizamentos (Thomas, 1994).

O Mapa 2 mostra que grande parte das zonas preferenciais de recarga de aquíferos do município de Belo Horizonte já estão ocupadas. A Tabela 1 corrobora tal afirmação. Apenas 25,13% não foram urbanizadas, o que não indica que cumprem seu papel de forma eficiente, devido a inúmeros outros problemas ambientais que possam existir, sobretudo no que tange à vegetação, posto que “hoje, grande parte das formações vegetais apresentam-se como capoeiras nos seus diversos estágios sucessionais” (Ferreira e Gontijo, 2005).

Percebe-se que a área urbanizada em todo o município – 83,18% – é consideravelmente maior em porcentagem do que a área ocupada das zonas de recarga – 74,13% – mostrando que os topos não foram priorizados para a urbanização no conjunto do processo; o que já era esperado. Todavia, este valor indica que o tecido urbano atinge 17,85 dos 23,84 km², sendo que apenas 5,99 km² não estão parcial ou totalmente impermeabilizados. A partir desses números, pode-se afirmar que as condições de recarga dos aquíferos de Belo Horizonte estão seriamente comprometidas.

Em contrapartida, alguns estudos mostram que em áreas impermeabilizadas, as principais fontes de recarga dos aquíferos são as fissuras no sistema de distribuição de água (Velásquez, 1996). Os problemas mecânicos nos encanamentos subterrâneos, apesar de contribuírem para o aumento dos custos do serviço para a população, minimizam os impactos na recarga subterrânea de grandes cidades.

Tabela 1: Expansão da impermeabilização dos topos em Belo Horizonte

Zonas de Recarga	Área Ocupada (km ²)	Área não-Ocupada (km ²)	Área Ocupada (% do total)	Área não-Ocupada (% do total)	Crescimento da Ocupação* (Km ²)
1918	0,35	23,49	1,47%	98,53%	-
1935	2,39	21,45	10,03%	89,97%	2,04
1950	7,45	16,39	31,25%	68,75%	5,06
1977	14,70	9,14	61,64%	38,36%	7,25
1995	17,03	6,81	71,42%	28,58%	2,33
2007	17,85	5,99	74,87%	25,13%	0,82

* em termos absolutos em relação à data anterior.

Área Total das Zonas Preferenciais de Recarga: 23,84 km². Fonte: Mapa de Evolução da Mancha Urbana (BELO HORIZONTE, 1995) e Imagem CBERS de 22/03/2007.

5. Considerações Finais

Dessa maneira, a ocupação urbana das zonas de recarga dos aquíferos e a conseqüente impermeabilização de áreas de importância primeira para a infiltração da água possuem graves conseqüências ambientais. A alteração da dinâmica das águas ocorre devido à aceleração do ciclo hidrológico através da supressão de etapas. Com a impermeabilização não há possibilidade de infiltração, tampouco o escoamento subsuperficial. Assim, as água pluviais atingem os canais de drenagem de forma muito mais intensa e conseqüentemente também deixam o sistema, seja via atmosfera, seja via exutório da bacia, mais rapidamente (Silveira, 2002).

Especialmente, o Mapa 2 mostra uma concentração de topos não ocupados na região Nordeste e no limite sul-sudeste da capital. Em contrapartida, todas demais zonas de recarga de Belo Horizonte encontram-se urbanizadas, salvo alguns casos isolados. Referência deve ser feita aos divisores de águas entre as duas principais bacias em que se insere o município – Onça e Arrudas – que estão totalmente ocupados já há algum tempo.

Na região Nordeste, a bacia do Córrego do Isidoro é um possível espaço de ocupação urbana. Por questões diversas, os loteamentos na região intensificaram-se somente a partir da década de 1980, como se observa no mapa. Com isso, boa parte dessa bacia não é urbanizada e, por conseguinte, os topos não estão ocupados. Entretanto, parece ser apenas uma questão de tempo para que a mancha urbana se estenda até lá.

O caso dos topos do limite sul-sudeste de Belo Horizonte é diferente. A morfologia da região é determinada pelas rochas do supergrupo Minas, formando a borda norte do Quadrilátero Ferrífero. O relevo serrano gera vertentes de alta declividade e topos estreitos e alongados. Essa característica natural da região é inibidora da ocupação, por questões relativas à dificuldade de construção.

Essas observações acerca da ocupação das zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte são de extrema importância para a compreensão das alterações na dinâmica hidrológica local e regional ocorridas nos últimos cem anos. Todavia, são apenas preliminares, sendo necessários estudos mais específicos e ensaios de campo para responder a uma série de perguntas.

6. Referências

Lefebvre, Henri (1999). **A revolução urbana**. Editora da UFMG, Belo Horizonte.

- Harvey, David (1995). **Espaços urbanos na aldeia global**. [s.n.], [s.l.].
- Belo Horizonte (1995). **Plano Diretor de Belo Horizonte: lei de uso e ocupação do solo - estudos básicos**. PBH, Belo Horizonte.
- Hall, M. J. (1986). **Urban Hydrology**. Elsevier Applied Science, London.
- Strahler, Arthur; Strahler, Alan (1992). **Modern Physical Geography**. 4^a ed. John Wiley & Sons, New York.
- Brandão, V. dos S.; Cecílio, R.A.; Pouski, F.F.; Silva, D.D. (2006). **Infiltração da água no solo**. 3^a ed. Ed. UFV, Viçosa.
- Porto, Rubem. L.; Zahed Filho, Kamel; Tucci, Carlos. E. M.; Bidone, Francisco. R. A. (2002). Drenagem Urbana. In: Tucci, Carlos E. M. (org) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3^a ed. Ed. UFRGS, Porto Alegre; EDUSP, São Paulo; ABRH, Rio de Janeiro.
- Guidicine, Guido; Nieble, Carlos (1983). **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Edgard Bluncher, São Paulo.
- Fernandes, Nelson Ferreira; Amaral, Cláudio Palmeiro do (2000). Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, Antonio Jose Teixeira; Cunha, Sandra Baptista da (org). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Thomas, Michael F. (1994). **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. John Wiley & Sons, Chichester.
- Umbelino, Glauco José de Matos (2006). **Proposta metodológica para avaliação da população residente em áreas de risco ambiental: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Onça/MG**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais.
- Ferreira, Igor Lacerda; Gontijo, Bernardo Machado (2005). Um histórico verde: a retração da vegetação remanescente no município de Belo Horizonte. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005. **Anais do...** USP, São Paulo.
- Velásquez, Leila Nunes Menegasse (1996). **Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial - área piloto: sub-bacias Sumaré e Pompéia, Município de São Paulo**. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo.
- Silveira, André L. (2002). Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 3^a ed. UFRGS, Porto Alegre. p. 25-52.