

CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO DAS ÁGUAS NA PORÇÃO SUDOESTE DA BACIA REPRESENTATIVA DE JUATUBA

Rossana Cristina Vasconcellos Soares¹ & Celso de Oliveira Loureiro²

Resumo: O estudo da circulação hídrica subterrânea é de fundamental importância na gestão integrada dos recursos hídricos e a inclusão dessa fonte manancial nos sistemas de gestão representa um desafio nos dias atuais. O objetivo dos estudos aqui descritos foi a caracterização dos recursos hídricos subterrâneos na porção sudoeste da Bacia Representativa de Juatuba em termos de distribuição, ocorrência, hidrodinâmica, reservas e interação com as águas superficiais e com o uso e ocupação dos solos. Para tal foi realizada a identificação da geologia, do clima, da morfologia, dos tipos de solos e de cobertura vegetal da bacia. A determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos principais litotipos presentes na área em estudo, assim como o estabelecimento do modelo conceitual também foram realizados. A bacia do ribeirão Mato Frio está localizada no Complexo Granito-Gnaissico Belo Horizonte, onde os principais tipos de solo são os Latossolos e Argissolos. As taxas de recarga na bacia variam em torno de 18%, contribuindo às reservas dos aquíferos livres e seguindo ao meio fraturado.

Abstract: The study of underground water movement is of fundamental importance in the integrated management of water resources and nowadays is a challenge inclusion this kind of water in systems management. In this article presents the characterization of groundwater resources in the southwestern of Juatuba Representative basin, in terms of distribution, occurrence, hydrodynamics, reserves and interaction with surface water and soil use. It begins with the identification of geology, climate, morphology, types of soils and vegetation of the basin. Hydrodynamic parameters of the main rock types present in the study area, as well as the establishment of the conceptual model were also determinate. The Mato Frio basin is located in the granite-gneiss Belo Horizonte complex, where the main soil types are Oxisol soil and Ultisol soil. Recharge rates in the basin vary around 18%, contributing to the reserves of unconfined and following fractures of bedrock.

Palavras-Chave: caracterização hidrogeológica, bacia representativa de Juatuba.

¹ Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. Rua dos Inconfidentes, 1011. 10.º andar. Belo Horizonte-MG. CEP: 30140-120. e-mail: rvasconcellos@golder.com.br

² Professor, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Campus da UFMG. Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 31.270-901, Tel.: (31) 3409-1884. e-mail: celso@desa.ufmg.br.

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual do Brasil os investimentos em pesquisa e monitoramento dos recursos hídricos estão aquém do necessário para garantir um gerenciamento eficiente desse bem natural. Observa-se que até mesmo em empreendimentos onde a água é considerada insumo nos processos produtivos não existe ainda o conhecimento suficiente de sua variabilidade no tempo e no espaço.

O monitoramento sistemático em bacias representativas, como em Juatuba, é de grande valia quando se pretende quantificar as disponibilidades hídricas de uma região. Segundo Lanna (1983), citado em Goldenfum (2001), *o objetivo da instrumentação de bacias representativas é a obtenção de dados típicos da região homogênea a que pertencem, permitindo a fundamentação de estudos que resultam em um melhor conhecimento dos processos hidrológicos atuantes. As observações em bacias representativas devem ser efetuadas durante períodos longos de tempo e em combinação com estudos climáticos, pedológicos, geológicos e hidrogeológicos.*

A regionalização das informações obtidas em bacias representativas pode ser elaborada para funções estatísticas de variáveis hidrológicas, para parâmetros de modelos hidrológicos como características do hidrograma unitário, e para funções específicas que relacionam variáveis como curva de regularização, curva de infiltração e curva de permanência. Nesta última, ocorre o ajuste de funções matemáticas aos dados de cada posto e a regressão entre as características climáticas e físicas e a variável utilizada na adimensionalização da função dos diferentes postos (Tucci, 1993).

Porém, um monitoramento direcionado somente à hidrologia de superfície não é suficiente para a caracterização hídrica de uma determinada região, seja esta uma bacia representativa ou uma bacia com potencial de conflito de uso das águas. O monitoramento adequado para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos deve incluir ainda o acompanhamento da variação dos níveis e da qualidade das águas nos aquíferos, possibilitando a determinação do fluxo das águas no subsolo, o armazenamento subterrâneo e ainda as áreas de recarga e os exutórios das águas subterrâneas.

Segundo Cabral (2006), o aumento da demanda de água, o comprometimento das águas de superfície, a poluição de diversos mananciais de superfície, o melhor conhecimento dos aquíferos e o aprimoramento das empresas de perfuração de poços são algumas das causas do aumento do uso das águas subterrâneas.

Neste contexto, a caracterização dos fluxos subterrâneos associada ao uso do solo é importante para que não venha ocorrer a contaminação das águas subterrâneas devido a percolação da água de rios poluídos para os aquíferos adjacentes (Lima, 2007), possibilitando que o uso conjunto das duas fontes mananciais esteja disponível para as demandas futuras.

1.1. Objetivos e Justificativa

Na conjuntura do Decênio Hidrológico Internacional (1966-1975) promovido pela UNESCO, a bacia do rio Juatuba foi escolhida para representar, do ponto de vista hidrológico, a região central do estado de Minas Gerais. Tal escolha ocorreu pelo fato da bacia possuir características semelhantes ao da região, como formação geológica, cobertura vegetal, relevo e expressão ocupacional (DNAEE, 1981).

Recentemente, dois projetos de pesquisa executados pelo CDTN/CNEN e pela parceria entre a UFMG e o sistema CPRM/ANA, ampliaram e modernizaram a rede de monitoramento existente na bacia de Juatuba. Foram incluídos leituras contínuas da variação do nível de água subterrâneas e o refinamento do monitoramento na porção sudoeste da bacia de Juatuba, mais especificamente na bacia do ribeirão Mato Frio, onde foram realizados estudos de separação de escoamentos e quantificação das parcelas de infiltração no balanço hídrico.

A curva de recessão da hidrógrafa é de grande importância na hidrogeologia, permitindo a avaliação da magnitude do armazenamento de água subterrânea nos aquíferos superficiais que interagem com a drenagem superficial (CPRM, 2000) e os volumes escoados pelos exutórios dos aquíferos. Por sua vez, as alturas de infiltração, que não são absorvidas pelas raízes das plantas e estão quantificadas nos estudos de balanço hídrico, representam a recarga dos reservatórios subterrâneos.

Nesse contexto, optou-se por realizar a integração, consistência e tratamento dos dados e estudos existentes, assim como a execução de estudos complementares de caráter multidisciplinar, que permitam promover um conhecimento mais amplo a respeito das águas subterrâneas e um avanço no conhecimento do comportamento hídrico da Bacia Representativa de Juatuba.

Considerando que os estudos anteriores de separação de escoamentos e detalhamento na quantificação das parcelas do balanço hídrico estão disponíveis para a porção sudoeste da bacia Representativa de Juatuba, e que a escala da bacia do ribeirão Mato Frio é mais adequada à realização dos estudos propostos, foi esta a porção selecionada para estabelecer o modelo conceitual com a descrição detalhada do comportamento hidrodinâmico das águas subterrâneas, assim como sua interação com as águas superficiais e com o uso e ocupação dos solos. A Figura 1 ilustra a localização da área em estudo e sua divisão em seis sub-bacias, atualmente monitoradas com estações fluviográficas.

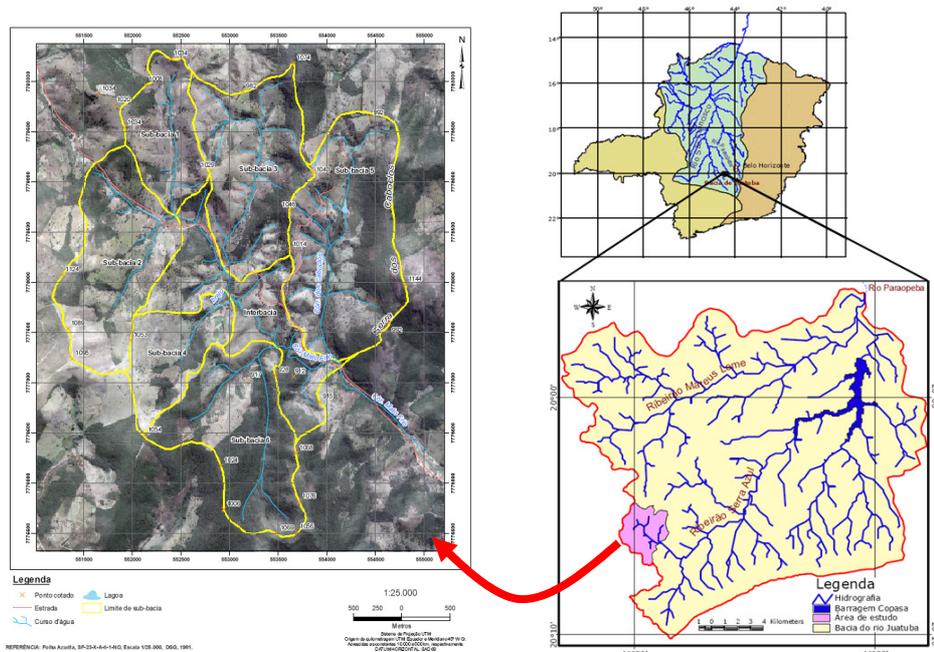


Figura 1. Localização da área em estudo.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização Física

A princípio foram levantadas as imagens e fotos aéreas disponíveis para a fotointerpretação geológica, onde os principais lineamentos estruturais foram identificados. As bases geológicas e topográficas existentes também foram analisadas, assim como as informações sobre os tipos de solo, cobertura vegetal e uso do solo. As atividades de campo focaram a confirmação e a complementação das características físicas da área em estudo descrita nos estudos anteriores.

A confirmação dos resultados da foto interpretação efetivou-se a partir da observação da rede hidrográfica, as feições estruturais e os principais litotipos e seus contatos. Os principais aspectos estruturais foram identificados a partir do manto intemperizado exposto nos cortes das estradas, na Serra dos Caboclos e ao longo das drenagens. As orientações das principais estruturas levantadas em campo geraram os estereogramas.

A topografia da bacia do ribeirão Mato Frio, com curvas de nível de 20 em 20 metros, foram disponibilizadas pelo CDTN/CNEN. Após sua digitalização, as curvas de nível foram empregadas na formulação do modelo digital utilizado para avaliação da distribuição da declividade e altitude. As classes de declividade foram separadas nos seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1999).

A classificação dos solos a nível regional obtida na revisão bibliográfica foi transferida à área em estudo, segundo os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA,

2005), pela análise dos dados disponíveis de granulometria (Drumond, 2004 e CDTN, 2008) e pelos horizontes expostos em cortes de estrada e em leitos de drenagem. As informações referentes às formas de relevo e seus processos de formação também foram utilizadas na caracterização pedológica da bacia do ribeirão Mato Frio.

A análise dos dados de distribuição granulométrica e profundidade dos furos de sondagem permitiram identificar os grupamentos texturais, as classes de textura e de profundidade dos solos e ainda calcular os atributos diagnósticos relacionados à relação textural da argila, à relação silte /argila e ao caráter argilúvico. Os atributos diagnósticos de relação silte/ argila, relação textural e caráter argilúvico foram utilizados para separação de classes nos diversos níveis categóricos do sistema de referência (EMBRAPA, 2005) e na definição de alguns horizontes diagnósticos.

2.2. Caracterização Hidroclimatológica

Inicialmente foram levantadas as estações de monitoramento hídrico existentes na Bacia Representativa de Juatuba. As séries de dados das estações fluviométricas e pluviométricas foram organizadas em histogramas onde foi observado o período com dados completos e a continuidade do monitoramento. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar das estações climatológicas instaladas na bacia Representativa de Juatuba, assim como a caracterização do regime pluviométrico, foram compilados para a classificação do clima segundo Köppen.

Na caracterização da pluviometria em termos de distribuição espacial e temporal, tanto ao longo dos anos quanto nos meses do ano hidrológico, as estações com série de dados descontínuas e inferiores a 20 anos, ou com grande parte dos dados em período divergente ao de monitoramento das demais estações, foram excluídas da análise na escala da Bacia Representativa de Juatuba. Por sua vez, os dados das quatro estações pluviográficas localizadas na bacia do ribeirão Mato Frio foram organizados e compilados.

O método utilizado para preenchimento de falhas nas séries históricas de precipitação foi o de regressão linear (Tucci, 2001), conforme a seguinte prioridade: preenchimento da série da estação PG-02 com os dados da estação PG-01 (fator de correlação igual a 0,96); preenchimento da série da estação PG-04 com os dados da estação PG-03 (fator de correlação igual a 0,89); preenchimento da série da estação PG-03 com os dados da estação PG-04 (fator de correlação igual a 0,85); preenchimento da série da estação PG-03 com os dados da estação PG-01 (fator de correlação igual a 0,83) e preenchimento da série da estação PG-04 com os dados da estação PG-01 (fator de correlação igual a 0,93). Após o preenchimento das falhas, para estimativa das precipitações totais anuais (2006/2007 e 2007/2008), foi adotado o cálculo de média ponderada pela área de influência de cada estação de monitoramento pelo método de Thiessen (Chow, et al., 1988).

Quanto aos dados de vazão, as estações localizadas na Bacia Representativa de Juatuba com séries de dados inferiores a 10 anos foram excluídas da análise. O regime de vazões na área em estudo foi caracterizado pela estação fluviométrica Fazenda Laranjeiras, localizada no exutório da área em estudo, e por outras seis estações fluviográficas em operação desde outubro de 2006. Foram calculadas as vazões médias de longo termo e as vazões específicas para cada estação fluviométrica considerada.

2.3. Caracterização Hidrológica

A curva de recessão da hidrógrafa representa a contribuição da água subterrânea na descarga de um rio durante o período de estiagem e ajusta-se de forma satisfatória a uma equação de decaimento do tipo exponencial decrescente (CPRM, 2000). A curva de recessão, ou de esvaziamento, permite ainda avaliar a amplitude do armazenamento de água subterrânea nos aquíferos livres que interagem com a drenagem de superfície. Assim como para a vazão específica de cada bacia, a curva de recessão é uma função da topografia, do padrão de drenagem, dos solos, da geologia e da cobertura vegetal de uma bacia.

A expressão do decaimento é dada por:

$$Q_{(t)} = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

Onde:

Q_0 = vazão inicial do período de recessão da hidrógrafa,

e = base dos logaritmos neperianos;

t = tempo;

α = coeficiente de recessão com dimensão de tempo⁻¹.

Para a obtenção da equação de decaimento das vazões foram plotadas as séries de vazão das sete estações fluviográficas localizadas na área em estudo e ajustadas curvas de tendência do tipo exponencial para os caudais de recessão. A determinação do período no ano civil em que ocorre o esgotamento dos aquíferos é realizada a partir da identificação do ponto de inflexão da hidrógrafa plotada em gráficos com a variação da vazão em escala logarítmica de base 10 e tempo em dias. Como a recessão tende a seguir uma equação exponencial, na escala logarítmica a mesma tende para uma reta. O ano civil selecionado para representação da cauda de recessão da hidrógrafa foi o ano de 2007, pelo fato de possuir séries mais completas de dados de vazão nas sete estações fluviográficas instaladas na área de interesse.

No período compreendido entre 2001 e 2002, Drumond (2004) realizou experimentos utilizando trítio artificial como traçador em um trecho de 110 km² na bacia do ribeirão Serra Azul.

A metodologia desenvolvida consiste na injeção de trítio diluído em água em lotes de 18 m². Destaca-se que as taxas de infiltração de água no solo é obtida de forma direta pela quantificação da umidade do solo acima da profundidade com pico de concentração da nuvem de trítio. Para aplicação desta metodologia foram realizadas quatro campanhas de amostragem de solo ao longo de um ano hidrológico, acompanhamento do deslocamento vertical da nuvem de trítio e das umidades nas amostras de solo e monitoramento das alturas de precipitação em quatro pluviógrafos instalados na bacia. Além da identificação do fluxo vertical da nuvem do traçador foi observada também nas campanhas de amostragem a possibilidade de existência de fuga do traçador por fluxos horizontais.

Em continuidade aos experimentos utilizando trítio artificial como traçador, CDTN (2008) realizou novos trabalhos na bacia do ribeirão Mato Frio. As parcelas de recarga alcançadas nos estudos realizados por Drumond (2004) e CDTN (2008) foram adotadas no presente estudo.

2.4. Caracterização Hidrogeológica

Foram considerados que os aquíferos são formações geológicas em que, no meio saturado, a água se movimenta em condições naturais (CPRM, 2000) e que as unidades hidroestratigráficas são formadas pelas unidades geológicas que possuem propriedades hidrogeológicas parecidas (Anderson & Woessner, 1992). O critério de se adotar valores de condutividade hidráulica citados na literatura consultada se faz necessário devido à inexistência de dados de testes de bombeamento na bacia estudada. Um fator adicional de incerteza refere-se à pressuposição de que o perfil de solo no qual a infiltração se processa é homogêneo.

Além dos dados de distribuição granulométrica e a classificação dos solos, os resultados de ensaios de infiltração realizados por Drumond (2004) direcionaram a determinação de valores representativos dos parâmetros hidrogeológicos, em especial da condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica em dois pontos da bacia do ribeirão Mato Frio foi utilizando os resultados dos ensaios com permeâmetro Guelph aplicados por Drumond (2004).

Associando os resultados de condutividade hidráulica estimados por Drumond (2004) às classes de textura do solo foram obtidas as faixas de condutividade hidráulica para os solos argilosos, argilo arenosos e franco argilo arenosos. Em complementação, também foram levantadas na bibliografia as relações entre os latossolos e argissolos e os valores de condutividade hidráulica.

Na bacia do ribeirão Mato Frio, as investigações hidrogeológicas realizadas por CETEC (1983a), Drumond (2004), CDTN (2008) e UFMG (2008) produziram dados piezométricos (PZ 4 - FL), levantamento dos pontos de descarga dos aquíferos e campanhas de amostragem e análise química, física, isotópica e iônica da água. Em complemento, no âmbito do presente estudo, foram realizadas cinco campanhas de acompanhamento de mobilidade das nascentes entre os meses de

junho/2008 e fevereiro/2009. A variação dos níveis de água subterrânea foi relacionada ao tipo de solo, declividade do terreno e cobertura vegetal, possibilitando a associação das características físicas das sub-bacias com a hidrogeologia.

A compilação dos estudos anteriores onde foram analisados os parâmetros físico-químicos da água é de grande valia para a caracterização dos aquíferos locais. A revisão bibliográfica apontou dois estudos sobre o comportamento hidroquímico das águas na Bacia Representativa de Juatuba. São eles: 1) Determinação do funcionamento hidráulico dos aquíferos, através de parâmetros químicos (CETEC, 1983a); 2) Estudos da formação de escoamentos utilizando a técnica de traçadores na bacia representativa de Juatuba (CDTN, 2008).

Os tempos de renovação calculados por CDTN (2008) foram considerados na determinação da origem das águas de escoamento base dos cursos de água da bacia do ribeirão Mato Frio. Considerou-se para tal que as águas com tempo de renovação superiores a 10 anos possuem contribuição do meio fraturado e as águas mais recentes provêm das camadas de cobertura. As análises iônicas e físico-químicas realizadas por CDTN (2008), por terem sido realizadas em apenas uma campanha (agosto de 2006), não são suficientes para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes (cloretada, sódica, carbonatada etc.), porém a distribuição espacial desses resultados foram plotadas relacionando: pH e temperatura; íons de Na e Cl e sua relação com a condutividade elétrica; íons manganês e ferro; elementos móveis (Na, Ca e K) e a sílica.

2.5. Modelo Hidrogeológico Conceitual

O modelo hidrogeológico conceitual trata-se da simplificação de um problema real a partir da aplicação das características levantadas na revisão bibliográfica e em campo na interpretação do sistema. O domínio do modelo conceitual foi definido a partir do eixo da estação fluviográfica de Fazenda Laranjeiras e dos divisores topográficos delimitados para esta seção do ribeirão Mato Frio. Foi adotada no modelo conceitual a subdivisão da bacia do ribeirão Mato Frio em seis sub-bacias (Figura 1).

As condições de contorno tomadas para o domínio de interesse hidrogeológico estabelecem as fronteiras para avaliação da dinâmica de fluxo das águas subterrâneas e são associadas aos tipos de limites físicos e hidráulicos presentes. As condições de contorno estão agrupadas em condições de primeiro e segundo tipo (Anderson & Woessner, 1992). A carga constante associada à distribuição da rede de drenagem superficial é uma condição de primeiro tipo. O fluxo nulo associado aos contornos hidráulicos representados pelo limite inferior do modelo (gnaisse) e pelos divisores

topográficos de água e ainda a situação de fluxo conhecido característico da recarga direta na superfície do terreno pela precipitação pluviométrica são condições de segundo tipo.

Para a delimitação da região aquífera com interação entre o fluxo subsuperficial e de zonas fraturadas focou-se nos resultados da caracterização da geologia estrutural, hidrológica, isotópica e hidroquímica. A delimitação das áreas de recarga, exutórios, espessuras, profundidades, posição e extensão dos aquíferos foi definida a partir dos mapeamentos geológicos, geomorfológicos, de solos e de cobertura vegetal. Além da geometria e dos parâmetros hidrogeológicos também foram considerados no modelo conceitual as entradas e saídas do sistema. O fluxo da água subterrânea foi identificado a partir das diferenças de carga hidráulica do aquífero e da localização das drenagens.

Na avaliação do regime de descarga dos aquíferos foi considerado o tempo de renovação das águas, o tipo de solo e cobertura vegetal e ainda a geologia de cada sub-bacia. Para a quantificação da carga, além das características do solo, cobertura vegetal e o relevo, também foram observados os regimes de precipitação e as parcelas do balanço hídrico.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA

A área em estudo localiza-se na bacia do ribeirão Mato Frio, mais a montante da Bacia Representativa de Juatuba (sub-bacia 40 - Alto São Francisco), entre os paralelos 20°04'00" e 20°08'00" sul e entre os meridianos 44°28'00" e 44°31'00" oeste, nos municípios de Itaúna e Mateus Leme, abrangendo uma área total de 10,6 km². Conforme descrito anteriormente, a bacia do ribeirão Mato Frio foi dividida em seis sub-bacias, três delas situam-se na margem esquerda e outras três na margem direita. A área localizada entre as sub-bacias delimitadas foi chamada de Interbacias.

3.1. Geologia

Numa escala regional, a sub-bacia do ribeirão Mato Frio está localizada no segmento meridional do cráton do São Francisco; unidade tectônica de idade arqueana, retrabalhada durante o Ciclo Brasileiro (Almeida, 1977) e em relação ao Quadrilátero Ferrífero, a oeste, inserida no Complexo Granito-Gnáissico Belo Horizonte, da era Mesoarqueano. A referência geológica em escala mais detalhada (1:50.000) foi encontrada no Mapa Geológico Igarapé (SF.23-X-A-II-1).

Os domos são nucleados pelos complexos gnáissicos arqueanos (Mourão, 2007) e são facilmente visíveis nas imagens de satélite. Esta cobertura é formada pelo intemperismo e cresce em importância à medida que se desce a encosta, e é onde se localizam as principais surgências de água subterrânea nos domínios destas litologias (CETEC, 1983a). Nas cristas das sub-bacias da margem

direita do ribeirão Mato Frio foram identificadas faixas quartzíticas, as quais estão associadas às zonas de cisalhamento. Os três principais lineamentos estruturais na área de estudo são de direção N-S, NW-SE e SW-NE e podem ser visualizados nas seções geológicas (Figura 2).

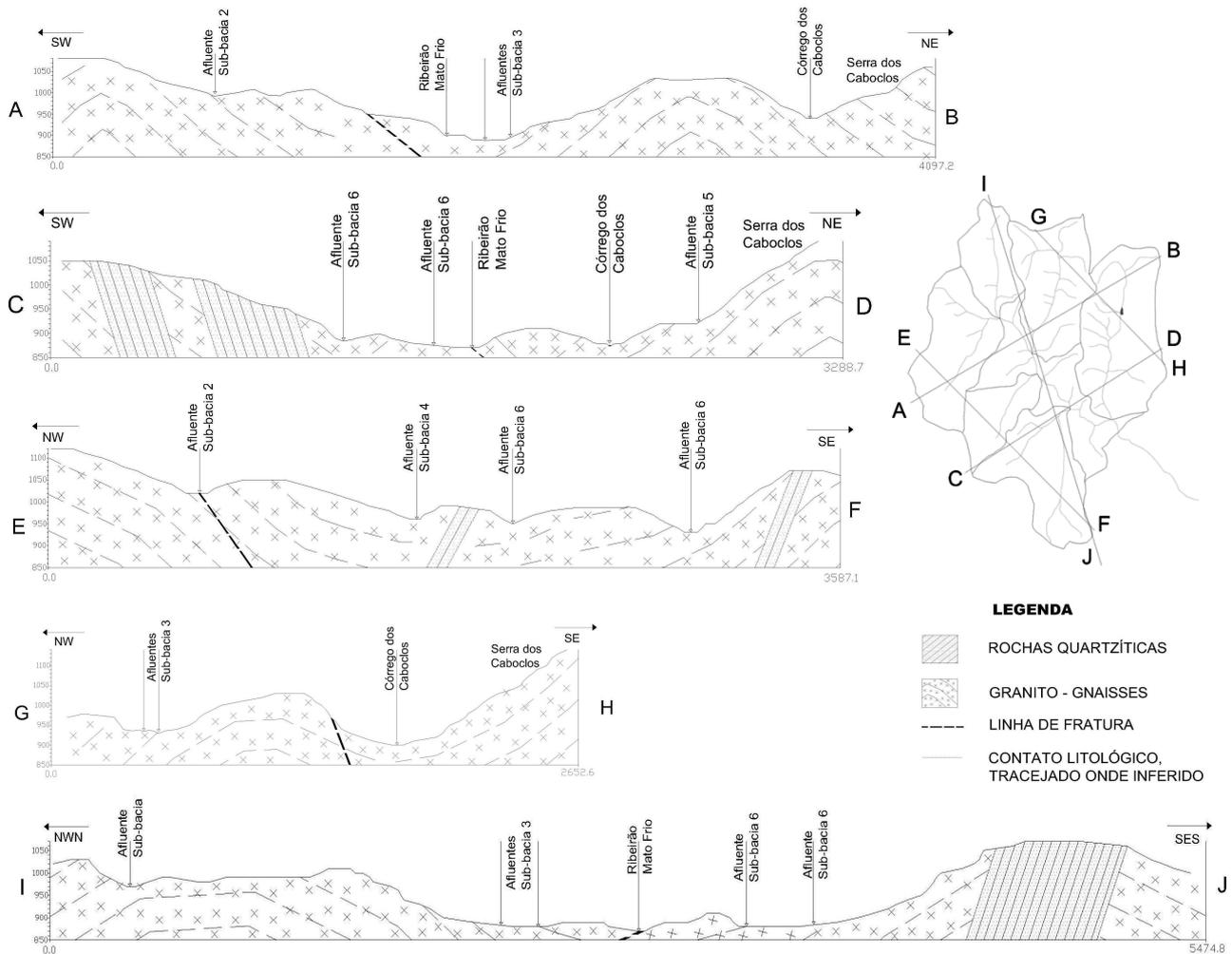


Figura 2. Seções geológicas da bacia do ribeirão Mato Frio.

3.2. Geomorfologia e Solos

A estabilidade estrutural do embasamento aliado aos fatores climáticos e a topografia são os principais responsáveis pelo processo de formação do solo na região, estando comumente associados aos Argissolos (IGA, 1984; CETEC, 1983 e RURALMINAS, 2002 *apud* Drumond, 2004). As principais classes de solos que ocorrem na bacia são: Latossolos, Argissolos (Podzólicos), Cambissolos e Neossolos (Solos Litólicos), em geral, de caráter álico ou distrófico. Ocorrem também Solos Aluviais eutróficos e hidromórficos indiscriminados, em áreas de várzeas e baixadas, geralmente, próximos às margens dos principais cursos de água (CETEC, 1983 e RURALMINAS, 2002 *apud* Drumond, 2004). A partir das informações contidas no boletim publicado pelo DNAEE, “Bacia Representativa de Juatuba - dados atualizados até 1975” (Franz,

1981), os solos da bacia são descritos como sendo, na sua maioria, profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade natural.

A distribuição das declividades na área em estudo é de 60% de relevo forte ondulado, 25% de relevo ondulado e 10% de relevo montanhoso. Não são observadas variações significantes de distribuição de declividades entre as sub-bacias. A sub-bacia 6 é a mais acidentada, onde os desníveis máximos alcançam 280m. As cotas mínimas e máximas nas sub-bacias são respectivamente 860m e 1140m e a altitude média está em torno de 970m.

3.3. Cobertura Vegetal e Uso do Solo

Os cerrados, segundo Franz (1981), são apresentados segundo um gradiente crescente de biomassa, associada à fertilidade e umidade dos solos, variando de campos sujos de cerrado, campo cerrado e cerrado; enquadrados no grupo de formações campestres; e ainda o cerradão; enquadrado no grupo de formações florestais. Nos platôs mais elevados, onde o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, a vegetação é composta por gramíneas e subarbustos. Por sua vez, nas encostas suaves localizadas entre os platôs mais elevados e as drenagens encontram-se os cerrados propriamente ditos. Sob tais árvores podem ser observado um tapete de gramíneas com subarbustos de folhas grandes e densas. A distribuição do uso do solo apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição dos Usos do Solo em Cada Sub-Bacia

Sub-Bacia	01	02	03	04	05	06	Interbacias
Pasto	82%	70%	69%	75%	63%	28%	71%
Pasto Sujo	-	2,2%	5,1%	-	4,0%	-	-
Remanescente de Mata Atlântica	7,0%	-	18%	9,5%	21%	72%	4,4%
Mata Alterada	9,5%	20%	6,4%	11%	5,8%	-	25%
Lagoa	0,13%	-	-	0,20%	0,22%	-	-
Mata Ciliar	1,7%	7,4%	1,2%	-	2,0%	-	-
Campineira	-	-	-	4,4%	-	-	-
Afloramento Rochoso	-	-	-	-	4,1%	-	-

Ultimamente, sobretudo nas regiões mais planas, grandes áreas de cerrado vêm sendo substituídas por pastagens e áreas de cultivo mecanizado, ou mesmo devastadas para a exploração de lenha e carvão. Nas regiões de relevo mais acidentado o cerrado encontra-se mais preservado, como nas encostas e nos topos dos morros (Neves, 2004). As formas de relevo e as classes de solo presentes na bacia, quase sempre com baixa fertilidade natural, estão associadas à necessidade de correções químicas para aproveitamento agrícola.

3.4. Características Hidroclimáticas e Hidrológicas

Na área em estudo estão instaladas sete estações de registro contínuo de nível de água e quatro estações pluviográficas. As estações pluviográficas, dotadas de sondas (modelo Dipper-TEC, da SEBA) de registro de nível de água, condutividade e temperatura das águas, registram as vazões no exutório da bacia do ribeirão Mato Frio (estação Fazenda Laranjeiras) e em seis sub-bacias com área de drenagem variando entre 0,8 e 2,4 km². A área localizada entre as sub-bacias foi nomeada como interbacias (1,6 km²).

O clima da região é caracterizado por uma estação quente e chuvosa entre os meses de novembro e março e época seca predominante entre junho e agosto (Neves, 2004). Os totais mensais precipitados sofrem pouca variação espacial e a precipitação média de longo termo é de 1540 mm. Conforme a série de dados climatológicos das estações Serra Azul e Alto da Boa Vista, as temperaturas médias mensais variam entre 16 e 23°C e os extremos valores de temperatura do ar são de 4 e 34°C. A distribuição média mensal das precipitações nas quatro estações localizadas na área de estudo pode ser observada na Figura 3. Por sua vez, a localização das estações pluviográficas e as respectivas áreas de influência determinadas a partir do método de Thiessen (Chow, et al., 1988) podem ser observadas na Figura 4.

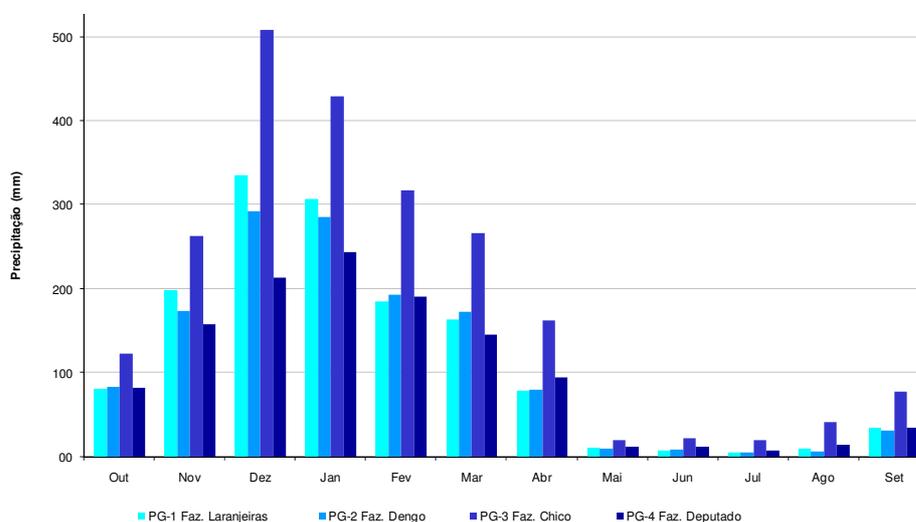
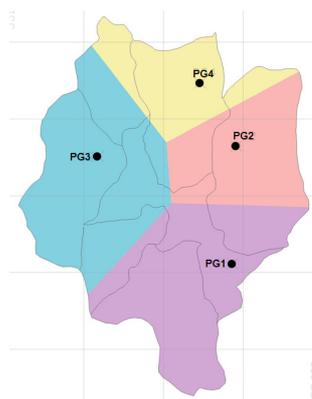


Figura 3. Distribuição das precipitações médias mensais na área em estudo.



	PG1	PG2	PG3	PG4
Sub-Bacia 01	0,0%	0,0%	62,2%	37,8%
Sub-Bacia 02	0,0%	0,0%	100%	0,0%
Sub-Bacia 03	0,0%	24,7%	9,21%	66,1%
Sub-Bacia 04	37,3%	0,0%	62,7%	0,0%
Sub-Bacia 05	24,6%	66,2%	0,0%	9,19%
Sub-Bacia 06	100%	0,0%	0,0%	0,0%
Interbacias	53,0%	8,38%	38,5%	0,091%
Bacia Rib. Mato Frio	31,7%	19,6%	32,9%	15,8%

Figura 4. Áreas de influência utilizadas no cálculo da média de Thiessen.

A vazão específica na bacia (Tabela 2) é de 15,03 L/s/km², a qual varia nas sub-bacias com forte relação ao uso do solo. De forma inversa ao observado nas demais sub-bacias, na sub-bacia 5, delimitada à esquerda pela Serra dos Caboclos, apesar de ser ocupada em 21% por remanescente de Mata Atlântica, as altas declividades e a presença de afloramento rochoso aceleram o escoamento superficial durante os eventos de chuva, contribuindo para valores maiores de vazão específica.

Analisando a interação rio-aquífero pela equação descrita por Ponce (1989), observa-se que a drenagem do rio para o aquífero aumenta com a difusividade e diminui com o quadrado da largura do aquífero, o que representa maior valor de coeficiente de recessão e menor probabilidade de vazão de base durante todo o período de estiagem. Isso ocorre pela relação inversa entre o coeficiente de recessão e a capacidade de armazenamento subterrâneo. Na Tabela 2 podem ser comparados os valores de coeficiente de recessão nas sub-bacias do ribeirão Mato Frio e em sua bacia como um todo.

Tabela 2. Vazões específicas e Coeficientes de Recessão na Bacia do Ribeirão Mato Frio

Estação Fluviográfica	01	02	03	04	05	06	07
Ad (km ²)	0,8944	1,71	1,46	0,8373	2,3178	0,81	10,6
Q _{MLT} (L/s)	12,83	12,69	10,50	9,42	31,88	2,35	202,96
Q _{esp} (L/s/km ²)	14,34	7,42	7,19	11,25	13,76	2,90	19,15
α (dias ⁻¹)	0,01290	0,01137	0,01712	0,03477	0,00498	0,02185	0,00694

Os resultados alcançados para os coeficientes de recessão da bacia do ribeirão Mato Frio no ano hidrológico de 2006/2007 estão próximos aos valores alcançados nos estudos sobre a influência do desmatamento na evapotranspiração aplicado à bacia do ribeirão Serra Azul realizados por Neves (2004). Os resultados do referido estudo foram 0,00747 dias⁻¹, 0,00648 dias⁻¹ e 0,01131 dias⁻¹ para os hidrogramas dos anos civis de 1986, 1997 e 2001, respectivamente.

Associaram-se os maiores valores de coeficiente de recessão (sub-bacias 1, 2, 3, 4 e 6) às bacias hidrográficas com terrenos pouco permeáveis, com camadas porosas pouco espessas e de baixa capacidade de armazenamento. Por sua vez, para a sub-bacia 5 e para a área de contribuição do eixo principal do ribeirão Mato Frio, onde as contribuições para o escoamento base são provenientes da descarga de aquíferos rasos e da restituição de aquíferos fraturados, os coeficientes de recessão estão em torno de $0,005 \text{ dias}^{-1}$. As relações entre capacidade de armazenamento e coeficientes de recessão também foram elaboradas por Mourão (2007) e condizem aos resultados alcançados no estudo atual.

Os resultados dos cálculos de balanço hídrico, utilizando uma média ponderada das taxas de infiltração quantificadas nos experimentos com trítio, correspondente ao escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração na ordem de 7%, 18% e 75% (Drumond, 2004). As alturas de infiltração para o ano hidrológico de 2006/2007 nas respectivas seis sub-bacias do ribeirão Mato Frio são 27,1%, 8,9%, 24%, 9%, 20,9% e 23,8% (CDTN, 2008).

3.5. Características Hidrogeológicas

De um modo geral a geologia da área em estudo pode ser considerada homogênea. Tal característica direciona a uma interpretação e classificação simplificada das unidades hidrogeológicas, sendo o aquífero das rochas granito-gnáissicas e de seu manto de cobertura a unidade hidrogeológica identificada.

A dinâmica de circulação da água subterrânea é condicionada pela existência de aquíferos livres em meio fissural, onde a circulação das águas subterrâneas é possível pela conectividade hidráulica estabelecida nas fissuras, fraturas e falhas geológicas, e principalmente em meio poroso, constituído pelas coberturas intemperizadas. Sendo assim, admite-se que quanto maior a densidade de fissuras e o manto de alteração das rochas, maior será a capacidade de armazenamento do sistema aquífero local. Além disso, a espessura do manto de alteração reflete diretamente na contribuição para a recarga das fraturas na rocha sã e é responsável por grande parte das restituições para os cursos d'água nos períodos de estiagem (CETEC, 2003b).

De um modo geral, o sistema aquífero encontra-se representado por pacotes de solos de porosidade intersticial, geralmente homogêneos, com espessuras médias que oscilam em torno de 20 a 30 metros, mais espessos nas zonas aplainadas e rasos ou quase aflorantes em terrenos onde há elevada declividade. São constituídos por frações de textura média a muito argilosa, como resultado da ação do intemperismo sobre o gnaisse que recobre os topos dos terrenos. Podem ser encontrados ainda depósitos de tálus resultantes do transporte de material que se separam das rochas dos topos

dos morros, acomodando-se no sopé das encostas, dando origem, localmente, a aquíferos temporários de grande importância nos processos de descarga.

O trecho de transição do pacote poroso às rochas fraturadas pode ser considerado mais heterogêneo, caracterizado por uma faixa de fluxos mistos com potencial hidrogeológico considerável, devido ao aumento de espaços para circulação e armazenamento da água subterrânea. Parte dos lineamentos da rede de drenagem deve coincidir com os trechos de maior condutividade hidráulica dos aquíferos fissurados. A produtividade média de poços é da ordem de 20 m³/h, porém a mediana é muito menor (atingindo apenas 7 m³/h). (CPRM, 2000).

A maioria das nascentes existentes no gnaiss ocorre no contato de depósitos de tálus com solo coluvionar e/ou afloramento rochoso. O solo coluvionar é geralmente areno-argiloso com coloração que varia de avermelhado a amarelado. A zona de contato do afloramento rochoso com o depósito de tálus recebe um fluxo maior de água, que se infiltra no solo, dando origem às nascentes. Durante o acompanhamento da mobilidade das nascentes observou-se que os níveis de água subterrânea da sub-bacia 1 variaram pouco, caracterizando pouca mobilidade da nascente. Por sua vez, as nascentes da sub-bacia 5 foram as que mais se deslocaram, resultando em diferenças de nível superiores a 50m. A variação dos níveis das nascentes e do piezômetro instalado próximo ao exutório da bacia do ribeirão Mato Frio podem ser visualizados na Figura 5.

A revisão bibliográfica apontou dois estudos sobre o comportamento hidroquímico das águas na Bacia Representativa de Juatuba. São eles: 1) Determinação do funcionamento hidráulico dos aquíferos, através de parâmetros químicos (CETEC, 1983a) e 2) Estudos da formação de escoamentos utilizando a técnica de traçadores na bacia representativa de Juatuba (CDTN, 2008).

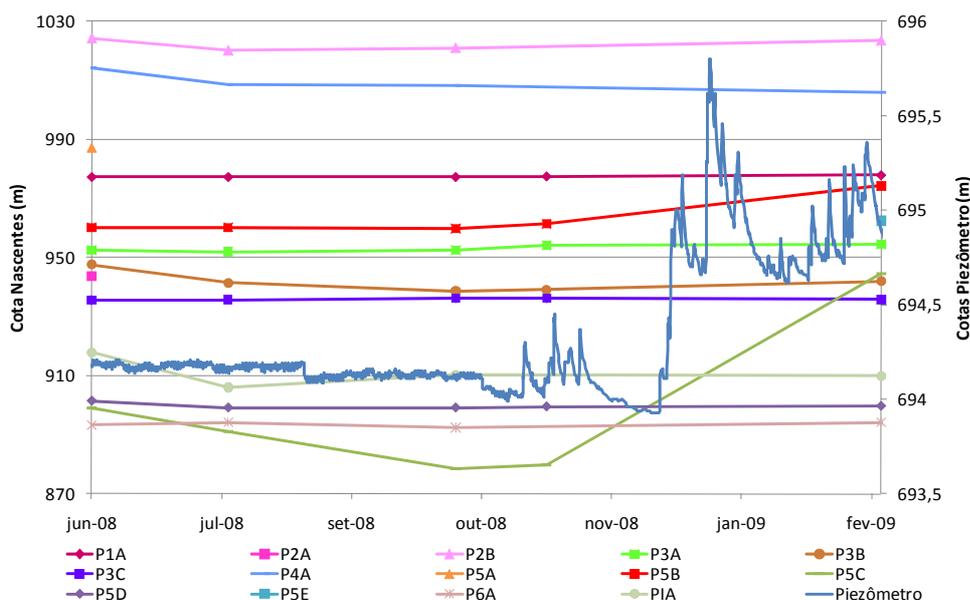


Figura 5. Variação piezométrica – PZ 4 Fazenda Laranjeiras e cotas das nascentes na bacia do ribeirão Mato Frio.

Dentre os resultados alcançados, concluiu-se que a descarga natural na área estudada não está globalmente associada às zonas aquíferas desenvolvidas por fissuramentos, sendo a principal contribuição de água subterrânea os escoamentos provenientes dos reservatórios constituídos pelas rochas alteradas e solos residuais, as coberturas detríticas e os demais depósitos terciários/quaternários sobrejacentes. Em CETEC (1983a), as análises geoquímicas realizadas na área de interesse apontam ainda para a presença de águas bicarbonatadas a fortemente bicarbonatadas mistas sódicas e com baixa salinidade. A evaporação pode ser considerada moderada a alta, com maior taxa de infiltração no manto de alteração, alta lixiviação do solo e interação água-rocha moderada a alta.

O pH medido em campo variou entre 5,31 (sub-bacia 5) e 6,80 (sub-bacia 6), com média em 6,03 (ligeiramente ácidas). Esses valores de pH, próximos ao da água de chuva, podem indicar a presença de águas recentes em fluxo subsuperficial. Quanto aos resultados de condutividade elétrica, as medidas realizadas em campo foram corrigidas segundo Logan (1965, *apud* CPRM, 2000), que considera a temperatura na aplicação de fatores de correção. Os valores mínimo, máximo e médio de condutividade elétrica são respectivamente 15,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 64,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 36,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

Segundo CPRM (2000), a ocorrência das águas subterrâneas em domínio de rochas cristalinas, onde o manto intemperizado recobre a zona fissurada, está condicionada principalmente pela abundância da precipitação e sua distribuição no tempo, formando um sistema aquífero livre com variação do nível de água entre o manto decomposto e a zona fraturada. Na região sudeste o manto decomposto do solo, ou cobertura eluvial, possui espessura da ordem de 40 m, com valor mediano de 30 m (Manoel Filho, *apud* CPRM, 2000).

A velocidade da água subterrânea, aqui relacionada à condutividade hidráulica, aumenta com a densidade de fissuras no sistema hidrogeológico constituído pelo gnaisse ou com a porosidade efetiva para fluxo da camada de cobertura intemperizada. Por outro lado, as diferenças de carga hidráulica (ou gradiente hidráulico) também influenciam nas velocidades de fluxo das águas subterrâneas no meio. A condutividade hidráulica no meio poroso varia entre $1,6 \times 10^{-4}$ e $1,6 \times 10^{-3}$ cm/s, diminuindo com a profundidade nos latossolos e aumentando nos argissolos. Na camada de transição entre o meio poroso e o meio fraturado, quando existente, varia em torno de $3,3 \times 10^{-6}$ e $5,2 \times 10^{-5}$ cm/s. Na camada de rocha sã a velocidade de fluxo é praticamente nula, em torno de $3,0 \times 10^{-14}$ e $2,0 \times 10^{-10}$ cm/s. Para o meio fraturado, por sua vez, a condutividade

hidráulica pode variar muito, a depender da espessura e densidade de canais de fluxo interligados no meio rochoso.

A interpretação de sistemas aquíferos fraturados, onde a circulação e o armazenamento da água subterrânea dependem de inúmeros condicionantes, se torna difícil na maioria das vezes. A transferência da configuração real observada em campo num modelo conceitual simplificado consistiu basicamente na separação da unidade estratigráfica das rochas granito-gnáissicas do embasamento cristalino em um sistema composto por aquíferos porosos nos mantos de alteração, aquíferos mistos de transição entre os fluxos subsuperficiais e profundos, aquíferos fissurados de porosidade secundária e maiores tempos de renovação, e abaixo destes aquíferos, uma camada impermeável de rocha sã, aqui considerada como aquífugo. Para a delimitação da região aquífera com interação entre o fluxo subsuperficial e de zonas fraturadas focou-se nos resultados da caracterização da geologia estrutural, hidrológica, isotópica e hidroquímica.

4.1. Regime de Descarga das Águas Subterrâneas

As sub-bacias delimitadas no domínio de interesse possuem, em geral, valores de coeficiente de recessão superiores a $0,01 \text{ dias}^{-1}$, indicando baixa capacidade de armazenamento. Os cursos de água da bacia comportam-se de forma perene durante todo o ano hidrológico. O trânsito da água subterrânea no aquífero, seja este a cobertura porosa ou os meios fraturados, pode oscilar em intervalos curtos ou longos e, conseqüentemente, num menor ou maior tempo de residência nos aquíferos (de 38 anos a tempos inferiores a 2 anos).

Com exceção dos cursos de água condicionados por fraturamentos, a contribuição subterrânea aos elementos de drenagem (escoamento base), provém da circulação subsuperficial em meios porosos. Por sua vez, a contribuição ao escoamento superficial proveniente do fluxo das zonas fraturadas está presente nas drenagens do ribeirão Mato Frio, no Córrego dos Caboclos e seus afluentes, ocorrendo com mais expressão nos afluentes da margem esquerda, no afluente da margem direita do ribeirão Mato Frio logo após sua confluência com a sub-bacia 6 e na drenagem esquerda da sub-bacia 6.

Ressalta-se porém que onde o latossolo encontra-se mais desenvolvido, como na sub-bacia 6, o coeficiente de recessão apresenta-se um pouco maior que nas demais sub-bacias, provavelmente relacionado à baixa capacidade de armazenar água em profundidade e à presença de vegetação densa, que contribui para maiores alturas de evapotranspiração. O maior valor de coeficiente de recessão ocorreu na sub-bacia 4, onde o argissolo é caracterizado pela presença de solos mais arenosos, elevando a transmissividade hidráulica. O menor valor deste mesmo coeficiente incidiu sobre o hidrograma de vazão resultante da drenagem de toda a área de interesse, relacionando-se a

um maior aporte de água subterrânea ao curso de água superficial pela fratura coincidente ao leito de drenagem principal do ribeirão Mato Frio.

4.2. Recarga dos Aquíferos

A renovação da água subterrânea ocorre anualmente sob um regime pluviométrico médio anual de 1540 mm (média anual estação Fazenda Laranjeiras), o que garante a perenidade dos cursos de água na bacia do ribeirão Mato Frio. As áreas de recarga, aqui consideradas como aquelas onde predominam as condições de infiltração (recarga) sobre as de restituição (descarga), localizam-se nos divisores topográficos com relevo variando de plano a ondulado.

Na maioria das sub-bacias a água infiltra verticalmente no meio poroso (argissolos ou latossolos) até alcançar o lençol freático, a profundidades entre 5 e 10 m, ou mais. A partir daí segue sob a ação da gravidade, em fluxo subsuperficial, em direção aos talwegues localizados nas cotas inferiores. Nas sub-bacias onde o manto de regolito interage com o meio rochoso decomposto a semi-decomposto, parte da água infiltrada segue pelas fraturas a maiores profundidades, promovendo a recarga dos meios fraturados.

Além da influência do relevo nas áreas de recarga, a magnitude dessa recarga depende, entre outros fatores, da natureza do solo e do tempo de permanência dos excedentes do balanço hídrico (CPRM, 2000). O uso do solo e tipo de cobertura vegetal também influem nos processos de recarga, observadas parcelas da precipitação que contribuem para a recarga em áreas de remanescente de Mata Atlântica variando entre 24% e 27% (sub-bacias 1, 3 e 6), em áreas de pasto sobre argissolo em torno de 9% (sub-bacias 2 e 4) e em áreas de pasto sobre latossolo igual a 21% (sub-bacia 5).

5. CONCLUSÕES

Após a compilação dos dados primários existentes e levantados em campo, os resultados alcançados para a geologia estrutural, classes de solos, geomorfologia, clima, hidrologia de superfície e hidrogeologia estiveram próximos aos registrados na referência bibliográfica.

As coberturas inconsolidadas representativas dos aquíferos porosos, variando entre as regiões mais aplainadas, onde alcança até de 30 m de espessura, e os topos dos morros e leitos de drenagem, onde são freqüentemente observados os afloramentos rochosos, são responsáveis pelo escoamento de base na maior parte das drenagens durante as estiagens.

A contribuição de águas profundas provenientes das zonas fraturadas com porosidade secundária ocorre principalmente onde o leito de drenagem coincide com fraturas, como no Córrego

dos Caboclos e no ribeirão Mato Frio, onde os tempos de renovação das águas subterrâneas superam 30 anos.

Contatou-se que os tipos de solo, para a maior parte da área em estudo, exercem maior influência no regime fluviométrico das sub-bacias. O controle realizado pelas zonas fraturadas na descarga dos aquíferos também é bastante expressivo, porém sua influência é atenuada nas áreas onde os solos apresentam maiores teores de argila (solos mais evoluídos). As demais características do meio, como a declividade, a cobertura vegetal e o uso do solo têm importância secundária na descarga dos aquíferos.

Destaca-se ainda que os valores de recarga nos pontos onde o uso do solo e cobertura vegetal é característico de vegetação densa foram inferiores aos valores de recarga em áreas de pasto. Em concordância, as áreas com maiores ocupações de vegetação densa, como a sub-bacia 6, apresentaram as menores vazões específicas e coeficientes de recessão superiores a $0,01 \text{ dias}^{-1}$, associados a baixos valores de armazenamento específico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton São Francisco. In: REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS. [S.l.], ano 4, v. 7, p.349-364, 1977.

ANDERSON, M. P. & WOESSNER, W. W.. **Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport**. Califórnia: Academic Press, 1992. 381 p.

CABRAL, J. J. S. P. **Bombeamento Intensivo de Água Subterrânea e Riscos de Subsidência do Solo**. In: REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, n.3, v. 11, p.147-157, 2006.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN. **Relatório Final do Projeto de Pesquisa “Estudos da formação de escoamentos utilizando a técnica de traçadores na bacia representativa de Juatuba” – Alto São Francisco**. Projeto FINDEP: Desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidrogeológicos – Belo Horizonte: CDTN, 2008.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Determinação do Funcionamento Hidráulico dos Aquíferos, Através de Parâmetros Químicos**. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento de Métodos e Técnicas de Recursos Naturais – Bacia do Alto São Francisco e Parte Central da Área Mineira da SUDENE. Belo Horizonte, 1983a.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1983b.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE. 5º Distrito. **Bacia representativa de Juatuba**; série E-02 (dados atualizados até 1975). Brasília: DNAEE, 1981. 364 p.

DRUMOND, M. M., **A Técnica de traçadores e o seu potencial para ampliar o conhecimento hidrológico sobre as bacias brasileiras: um estudo aplicado à bacia representativa de Juatuba – MG.** 2004. 304p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: Sistema Brasileiro de classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo.** Viçosa: Embrapa Solos, 2005.

FRANZ, P.R.F **Composição botânica dos campos naturais da Bacia Representativa de Juatuba municípios de Mateis Leme, Igarapé e Itaúna em Minas Gerais.** In: Bacia Representativa de Juatuba; série E-02. Brasília: DNAEE, p. 21-24, 1981.

GOLDENFUM, J.A. Pequenas Bacias Hidrológicas: Conceitos Básicos. In: **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas;** Projeto RECOPE/ REHIDRO - Rede Cooperativa de Pesquisa em Engenharia e Gestão de Recursos Hídricos. Santa Maria, RS: ABRH, p. 3-14, 2001.

LANNA, A.E.L. **Províncias hidrológicas e bacias representativas.** In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 1983, Blumenau. Anais Florianópolis: ABRH. p3-24

LIMA, C. H. R. **Avaliação da Interação Rio-Aqüífero a Partir de Dados Experimentais e de um Modelo Analítico.** In: REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, n.1, v. 12, p.217-230, 2007.

MOURÃO, M.A.A., **Caracterização hidrogeológica do aqüífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG.** 2007. 297p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NEVES, B. V. B.; DUTRA, Luciano Vieira ; DRUMOND, Marcos Machado; RODRIGUES, Paulo César Horta; VERSIANI, Bruno Rabelo. **Influência do Desmatamento na Evapotranspiração: Estudo na Micro-Bacia do Ribeirão Serra Azul - MG com Apoio do Geoprocessamento.** In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, MA, 2004.

PONCE, V.M. **Research and Development. Baseflow Augmentation by Streambank Storage.** San Diego: San Diego State University. Report 009.4-89.13.1989. 88 p. Disponível em: <<http://www.feather-river-crm.org/pdf/baseflow.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2010.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia. Ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, IVANILDO; NETTO, O. M. C. **Gestão da Água no Brasil.** Brasília: UNESCO, 2001.156p.<www.unesco.br/publicações>. Acesso em março 2007.

UFMG e Fundação Christiano Ottoni, **Relatório de Poço Tubular Profundo – Serra Azul PZ 12,** Estudo dos processos hidrológicos em bacias representativas do cerrado e semi-árido mineiro - Projeto FINDEP: Desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidrogeológicos – Belo Horizonte: UFMG/ Fundação Christiano Ottoni, 2008.