

## AS FONTES EM ITAMONTE, SUL DE MINAS GERAIS – UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ENTENDIMENTO DAS RELAÇÕES ENTRE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA.

Edgar Pane<sup>1</sup> e Sueli Yoshinaga Pereira<sup>2</sup>

Recebido em 21/01/2004, aceito em 18/07/2004

**RESUMO** O trabalho caracterizou três surgências em microbacia (0,72 km<sup>2</sup>) situada no município de Itamonte, sul de Minas Gerais. A microbacia é composta por rochas gnáissicas do Complexo Paraíba do Sul, e blastomilonitos do falhamento local. Os dois lineamentos estruturais, N-NE e N-NW, comportam o sistema de drenagem na área de estudo, cujo primeiro é o principal sistema e o segundo apresenta-se intermitente. A execução de 11 perfis pelo método de caminhamento elétrico indicou no sentido N-NE, uma zona de fraturas situada logo abaixo do canal de drenagem, e no sentido N-NW, deslocada 100 metros. As taxas de escoamento básico foram calculadas em  $0,29 \times 10^{-3}$ ,  $0,70 \times 10^{-3}$  e  $5,13 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s com base nos hidrogramas das fontes 1, 2 e 3 respectivamente. As águas são de baixa mineralização e de composição bicarbonatadas mistas e cálcicas. O cálculo do balanço hídrico estimou para as fontes 1 e 2, taxa de infiltração de 146,44 e 149,33 mm/ano, em que suas bacias de contribuição são áreas de recarga. Para a fonte 3 estima-se uma contribuição significativa de toda a área de estudo e predomínio de condições de descarga do aquífero.

Palavras-chave: fontes, Itamonte, microbacia, aquífero fissural, geofísica.

**ABSTRACT** This article studied three springs situated in a hydrographic basin (0.72 km<sup>2</sup>), in the municipality of Itamonte, south region of Minas Gerais State, Brazil. This basin is supported by gneissic rocks, from Paraíba do Sul Complex, and blastomilonites from local fault zones. There are two structural lineaments, N-NE and N-NW directions, supporting the drainage system of the study area. The main system is perennial and has N-NE direction; the second system (N-NW) is intermittent. The geophysics survey consisted by electrical resistivity, using the Schlumberger gradient array, which indicated fractures zones in N-NE direction, below the drainage channel; fractures zones displaced about 100 m in relation to the drainage channel was found in N-NW drainage system. Hydrograms of springs 1, 2 and 3 were used to calculate recessions flows of  $0,29 \times 10^{-3}$ ,  $0,70 \times 10^{-3}$  e  $5,13 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s, respectively. These waters have low mineralization and calcium-bicarbonate and calcium-sodium bicarbonate composition. Water balances estimated an infiltration tax of 146,44 and 146,33 mm/year for the areas of springs 1 and 2, where their contribution basins were recharge areas. The spring 3 had aquifer discharge conditions.

Keywords: springs, Itamonte, micro basin, geophysical methods, fractured aquifer.

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte da dissertação de mestrado de PANE (2001) e apresenta a caracterização de três nascentes situadas em uma mesma microbacia no Município de Itamonte, sul do Estado de Minas Gerais. Os estudos para seu entendimento compreenderam tanto a análise hidrológica, como a hidrogeológica, geofísica e climática.

A fonte é considerada como ponto de descarga das águas subterrâneas em superfície, final de um ciclo subterrâneo da água, como também é o início do ciclo da água na superfície (as nascentes de córregos e drenagens). O entendimento dessa relação é complexo e nesse caso exigiu uma análise envolvendo os estudos de três partes do ciclo: a climatologia, a hidrologia e a hidrogeologia, envolvendo estudos geofísicos.

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Fazenda Monte Belo, zona rural do Município de Itamonte, Estado de Minas Gerais, distante cerca

de 27 quilômetros da sede do município. O acesso rodoviário é feito através da Rodovia Presidente Dutra (BR-116) até o entroncamento com a BR-354, Distrito de Engenheiro Passos, município de Resende, Rio de Janeiro, onde há o acesso para o município de Itamonte. A região de estudo fica entre os municípios de Itamonte e Alagoa, cujo acesso se dá por vias secundárias, e pertence a unidade de conservação federal APA da Mantiqueira.

A área de estudo, apresentada na figura 1, consiste de uma microbacia de 0,72 km<sup>2</sup> de área de drenagem, situada entre as cotas topográficas de 1400 e 1800 m. Possui forma alongada, comprimento do canal principal de 1460 m e vales fechados.

A microbacia apresenta altas declividades, e cobertura de vegetação secundária margeando as duas principais drenagens existentes em parte da área; na outra parte predominam as pastagens. As drenagens principais formadoras da microbacia de estudo possuem direção N-NE e NW e são afluentes do Ribeirão da Aberta.

<sup>1</sup> Mestrando do Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, Unicamp (edgarpane@uol.com.br)

<sup>2</sup> Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, Unicamp (sueliyos@ige.unicamp.br)

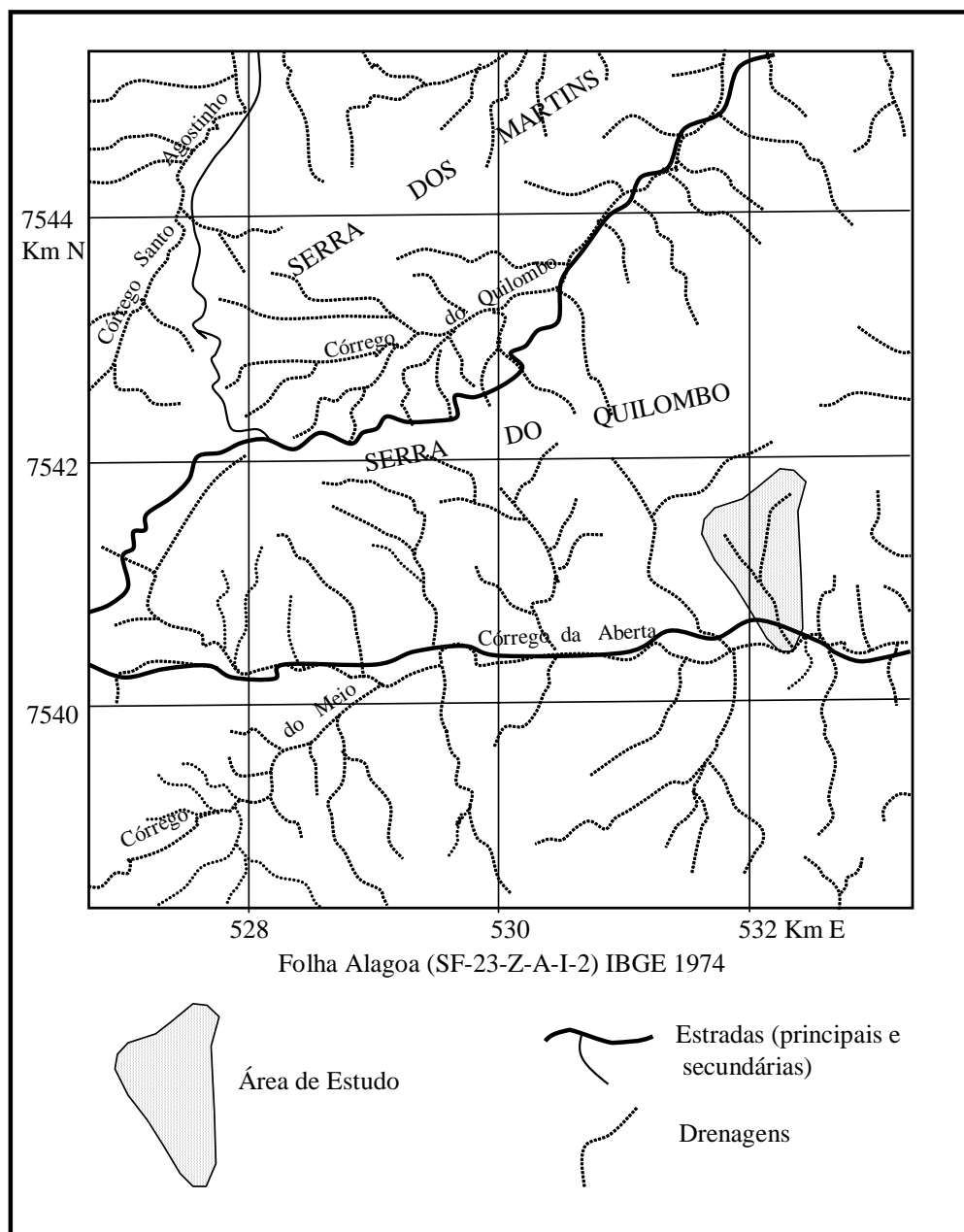


Figura 1 – Planta topográfica de localização da microbacia hidrográfica

**PROCEDIMENTOS DE ESTUDO**

Os estudos de campo consistiram do reconhecimento geológico local e também do levantamento geofísico de eletroresistividade, onde foram selecionados trechos de interesse na microbacia com base na fotointerpretação, sendo realizados 11 perfis geofísicos, sendo 10 perpendiculares às estruturas. O método utilizado foi o caminhamento elétrico com arranjo gradiente, para verificação da variação lateral da resistividade elétrica das rochas e detecção de discontinuidades em subsuperfície.

Os perfis foram realizados na cabeceira da drenagem principal (perfis A-A', B-B' e C-C', a distância de 50 metros entre um e outro); outros

perfis também foram paralelos entre si (D-D', E-E', F-F' e G-G') e possuíam os distanciamentos 100, 150 e 100 metros, respectivamente. Os perfis H-H' e I-I' têm todas as estações de leitura coincidentes, variando apenas a abertura dos eletrodos de corrente (400 m e 300 m, respectivamente). O perfil J-J' possui 10 estações de leitura coincidentes com as estações de leitura dos perfis H-H' e I-I'. O perfil L-L' não cortou a estrutura, sendo paralelo à mesma. A Figura 2 apresenta a disposição dos perfis geofísicos na microbacia e os pontos de monitoramento e coleta de amostras para análise. Os estudos de vazão das fontes foram feitos através da instalação de bicas no talvegue da

drenagem principal da microbacia para a realização de monitoramento da vazão em nascentes situadas em três pontos diferentes: na cabeceira (denominada F1, a 1650 m de altitude), na parte média (F2, a 1580 metros) e inferior (F3, a 1.350 m). As medidas de vazão foram realizadas quinzenalmente de agosto de 1999 a setembro de 2000, com um balde plástico graduado de 20 litros e um cronômetro digital, sempre pelo mesmo operador. Foram efetuadas cinco medidas de tempo e vazão para cada fonte, tirada a média aritmética simples e calculada a vazão em litros por hora. Os pontos F4 e F5 não foram monitorados porque o primeiro é uma drenagem intermitente e o outro está fora da microbacia.

Algumas análises físico-químicas foram realizadas nas fontes localizadas na drenagem principal e secundária, para uma caracterização hidroquímica básica. Os laboratórios de análise foram: Laboratório de Análises Mineraiis do Serviço Geológico do Brasil-LAMIN-CPRM (amostras F1, F2 datadas de 17/08/99, 31/01/01, respectivamente) e o Laboratório de Controle de Qualidade S/C Ltda-Hidrolabor (amostras F2-02/06/99 e F5-04/06/99). Outras análises mais

simples foram realizadas pelo LAMIN-CPRM, compreendendo alguns parâmetros de potabilidade nas fontes 4 e 5, ambas datadas de 16/04/99.

Os dados de precipitação mensais foram provenientes do Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica-M.M.E./DNAE (Microssistema de Dados Hidrometeorológicos-MSDHD), desde o ano de 1969 até 1998, de estações meteorológicas próximas à área de estudo (Tabela 1). As séries históricas de 30 anos das estações meteorológicas foram comparadas e apresentaram o mesmo padrão pluviométrico para a região. Pela maior proximidade foi selecionada a estação de Alagoa como a mais representativa da área de estudo.

A estação de Alagoa distancia 8 km à nordeste da área de estudo, e situa-se nas coordenadas 22°10'13"S e 44°38'38"W, a 1036 m de altitude. A série histórica correspondente ao período de 1969 a 1998 apresenta uma média total de precipitação de 1749 mm/ano, com valor máximo de 2917,7 mm/ano em 1983 e mínimo de 1039,6 mm/ano, em 1984. O desvio padrão encontrado é de 371,5 mm/ano e mediana de 1706,2 mm/ano.

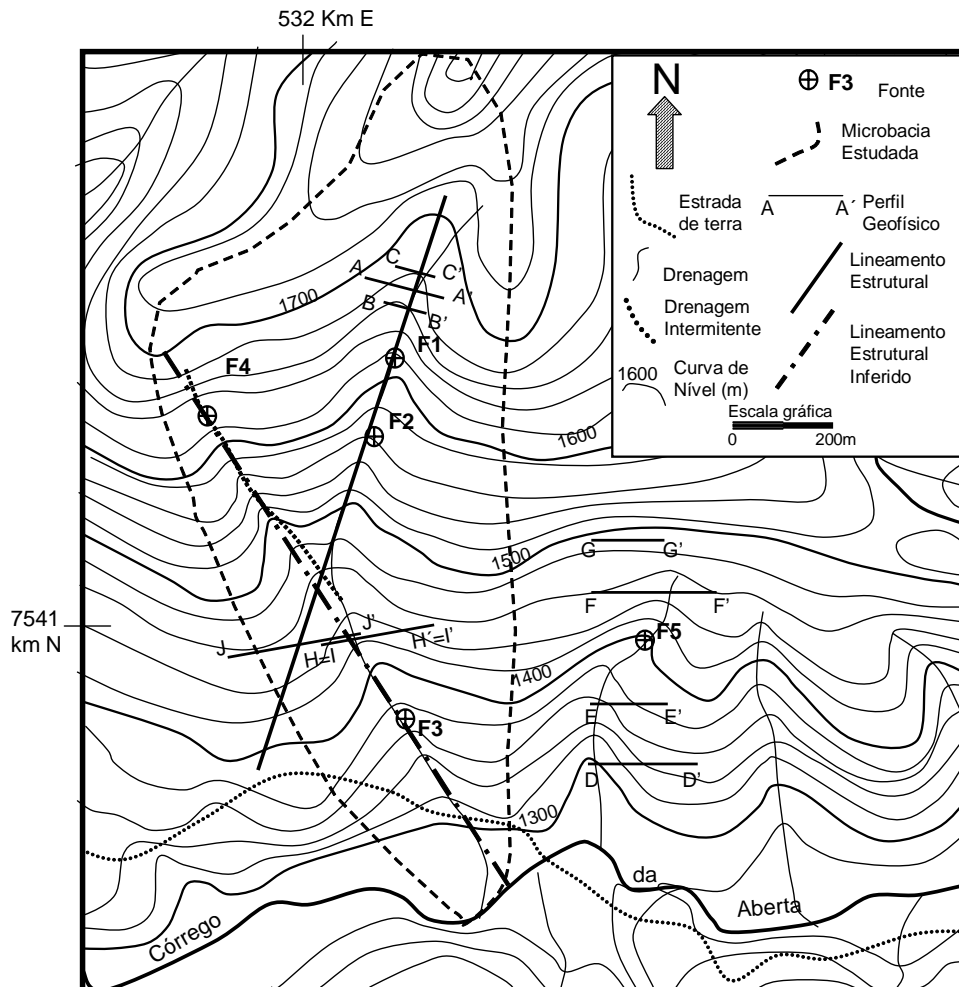


Figura 2 – Mapa esquemático da micro-bacia de estudo apresentando os perfis geofísicos, as fontes avaliadas e os lineamentos estruturais.

## **FISIOGRAFIA**

O local de estudo pertence ao setor ocidental do Planalto de Itatiaia, apresentando relevos de dissecação diferencial com aprofundamento de drenagem, reflexo das rochas existentes e de sua forte tectônica (MACHADO FILHO et al., 1983). Nesta compartimentação geomorfológica, destacam-se os vales estruturais, escarpas, cristas simétricas de grande extensão e linhas de cumeada, além de bordas de estruturas circulares. Próximos ao município de Itamonte, MG, e característica da área de estudo, as formas de relevo são mais colinosas, com manto de alteração muito profundo, mas variam até um perfil retilíneo-côncavo, quando atingem as litologias do Grupo Andrelândia, com alterações menos profundas e argilosas. As encostas destes locais são instáveis e tendem a movimentos de massas, notando terracetes e sulcos nas partes mais inclinadas. Em áreas mais elevadas, as cristas são seccionadas por falhamentos. É um ambiente com relevo extremamente forte e controlado tectonicamente. O solo resultante é o Cambissolo, compreendendo solos minerais com horizonte B câmbico ou incipiente, não hidromórficos e com pouca diferenciação de textura do horizonte A para B, apresentando certo grau de evolução, mas insuficiente para alterar os minerais primários de fácil intemperização como os feldspatos, micas e outros.

Em relação ao clima, CAVALCANTE et al., (1979) caracteriza-a como pertencente ao grupo mesotérmico (C), sub-tipo Cwb – clima mesotérmico de inverno seco, com verões brandos e estação chuvosa no verão. A temperatura média anual varia de 17,4 °C a 19,8 °C e a temperatura do mês mais quente é inferior a 22 °C. A estação seca estende-se de maio a setembro, atingindo índices baixos de evapotranspiração neste período. O período mais seco ocorre nos meses de junho e julho, quando se observam as mais baixas temperaturas médias, 16 °C. O período mais chuvoso compreende os meses de dezembro e janeiro, quando o total de chuvas atinge mais de dez vezes o total de junho e julho.

Próxima à área de estudo, a estação de Alagoa distancia 8 km à nordeste da área de estudo, e situa-se nas coordenadas 22°10'13"S e 44°38'38"W, a 1036 m de altitude. Apresenta uma precipitação total média de 1743 mm/ano, com médias máximas mensais de 315 mm (dezembro) e médias mínimas mensais de 26 mm (julho).

## **GEOLOGIA REGIONAL**

A área de estudo faz parte do Complexo Paraíba do Sul, que abrange um agrupamento litológico composto predominantemente por gnaisses e migmatitos. BRANDALISE et al., (1976) refere-se a Associação Paraíba do Sul como sendo constituída de uma grande variedade de tipos petrográficos metamórficos de médio a alto grau, provenientes de rochas magmáticas e sedimentares que além do metamorfismo regional sofreram processos tectônicos e granitização em graus variáveis. NOGUEIRA (1999) faz referência sobre os terrenos gnáissicos de alto grau metamórfico do Cinturão Ribeira, região de Juiz de Fora, em que descreve a alta complexidade das estruturas internas e tipos de rochas existentes, devido a longa história evolutiva pela qual passaram estas rochas. Esta estruturação é decorrente de seqüência de processos e eventos geológicos que tendem obliterar estruturas mais antigas e imprimir estruturas mais novas às rochas. Os eventos constituíram de sucessivas fases de metamorfismo, intrusões e deformação, bem como processos de fusão parcial, recristalização e assimilação.

## **GEOLOGIA LOCAL**

Nas proximidades da área de estudo, ocorrem gnaisses bandados a até parcialmente migmatizados e gnaisses granatíferos, litologias típicas do Complexo Paraíba do Sul.

Na microbacia, foram coletadas algumas amostras (de blocos rolados) para superar as dificuldades de se encontrar afloramentos na área, para os estudos petrográficos no local. Abaixo, se descrevem as rochas principais existentes na microbacia.

1. Hornblenda-Granada Quartzito – rocha metassedimentar, calcossilicatada, metamorfisada na fácies anfibolito, granulação fina, maciça e levemente foliada, sem deformação evidente, textura porfiroblástica e matriz granoblástica; apresenta a seguinte composição mineralógica: quartzo (45%), plagioclásio (3%), granada (30%), hornblenda (20%).
2. Muscovita-Biotita-Plagioclásio-Microclina Gnaiss (Blastomilonito Granítico) – granulação fina a média, com foliação proeminente, deformada e parcialmente recristalizada, textura blastomilonítica com porfiroclastos de feldspatos, composta pelos minerais quartzo (30%), plagioclásio (20%),

microclina (30%), biotita (10%), muscovita (10%).

3. Diabásio – granulação média, maciça, sem deformações, textura subofítica e intersertal, apresentando, predominantemente plagioclásio (40%) e augita (25%).

A micro bacia possui duas drenagens principais e são concordantes com os lineamentos estruturais regionais, pois possuem direção N-NE e NW, indicando zonas de fraturas. As presenças de rochas blastomiloníticas indicam a presença de falhamentos no local. As duas drenagens afluem para o Ribeirão da Aberta, de direção E-W, e estão encaixadas em uma zona de falha de mesma direção.

Na área de estudo definiram-se dois lineamentos estruturais, por meio de fotointerpretação, que condicionam os canais de drenagem superficial, sendo que a direção N-NE é a mais expressiva. O lineamento estrutural NW apresenta-se inferida e com presença de canal de drenagem intermitente. A figura 2 apresenta a situação dos lineamentos na microbacia. As presenças de rochas com evidências de falhamentos inferem que a microbacia se encontra em uma zona de falhamentos. O ribeirão da Aberta, à jusante da microbacia, está encaixado neste sistema de falha de direção E-W.

## GEOFÍSICA

Os estudos geofísicos, método de eletroresistividade, foram aplicados no sentido de se obter em subsuperfície a presença e direções dos fraturamentos das rochas na área de estudo. Os onze perfis realizados foram na modalidade caminhamento elétrico, com arranjo gradiente, sendo três na cabeceira da microbacia, quatro fora da mesma cortando estruturas paralelas às drenagens e quatro na porção inferior.

Nas figuras 3, 4 e 5 são apresentados os perfis A-A', B-B' e C-C', paralelos, à 50 metros de distância um do outro e cortando o lineamento estrutural norte-nordeste. A abertura de eletrodos de corrente (AB) foi igual a 360 m, a abertura dos eletrodos de potencial (MN) de 20 m, e estações de leitura com espaçamentos de 10 m. A profundidade investigada foi de até 120 m, aproximadamente um terço da distância que separa os eletrodos de corrente (AB).

A correlação dos três perfis mostra um mesmo padrão, com altos valores de resistividade aparente do início até o meio do perfil, e a partir daí, valores bem menores. As altas resistividades são representativas da rocha sã, maciça, sem fraturas, e as baixas resistividades, da rocha fraturada. Pela extensão lateral da zona de baixas

resistividades, há a presença de uma zona fraturada com mais de 100 m de largura.

Os perfis D-D', E-E', F-F' e G-G', apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9 também são paralelos, mantendo as respectivas distâncias entre si de 100, 200 e 100 m. Para os perfis D-D' e E-E', a abertura dos eletrodos de corrente foi de 360 m e para os demais, de 400 m. Em todos eles as aberturas dos eletrodos de potencial foram de 20 m e as estações de leitura espaçadas de 10 m.

À medida que se aumentou a cota topográfica (do perfil D-D' para G-G'), a ordem de grandeza dos valores de resistividade aparente aumentou, significando diminuição da espessura do manto de alteração. Uma faixa de baixa resistividade está bem definida na estação 16 dos perfis G-G', F-F' e D-D', com grande contraste de valores, indicativa de fratura, assim como nas estações 2 e 3, com baixos valores de resistividade aparente.

Os perfis D-D', E-E', F-F' e G-G', apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9 também são paralelos, mantendo as respectivas distâncias entre si de 100, 200 e 100 m. Para os perfis D-D' e E-E', a abertura dos eletrodos de corrente foi de 360 m e para os demais, de 400 m. Em todos eles as aberturas dos eletrodos de potencial foram de 20 m e as estações de leitura espaçadas de 10 m.

À medida que se aumentou a cota topográfica (do perfil D-D' para G-G'), a ordem de grandeza dos valores de resistividade aparente aumentou, significando diminuição da espessura do manto de alteração. Uma faixa de baixa resistividade está bem definida na estação 16 dos perfis G-G', F-F' e D-D', com grande contraste de valores, indicativa de fratura, assim como nas estações 2 e 3, com baixos valores de resistividade aparente.

Os perfis H-H' e I-I', apresentados nas figuras 10 e 11, possuem as 22 estações de leitura coincidentes, variando apenas a abertura dos eletrodos de corrente (400 m e 300 m respectivamente). Estes dois perfis cortam a drenagem principal encaixada na fratura N-NW entre as estações 11 e 12, porém não foram observadas anomalias de resistividade nestes pontos. A zona de baixa resistividade relacionada a fratura, neste caso, está deslocada cerca de 80 m para oeste, na altura da estação 3.

O perfil J-J' (Figura 12) tem as estações de 13 a 22 coincidentes com as estações de 1 a 10 dos perfis H-H' e I-I', e uma zona de baixa resistividade que começa na estação 3 e se estende até a estação 15.

A figura 2 apresenta as zonas fraturadas identificadas pelos perfis geofísicos na microbacia estudada, de direções norte-nordeste

e norte–noroeste, sobre os canais de drenagem e os lineamentos fotointerpretados existentes. As zonas de fraturas de direção norte–nordeste é a que possui drenagem de água permanente, em relação a outra, intermitente. Neste último, a zona de fraturamentos está deslocada do canal de drenagem principal. A junção destes dois canais de drenagem origina uma drenagem secundária de direção noroeste (a mesma do canal intermitente), que deságua no Ribeirão da Aberta, encaixado em estrutura de direção E–W.

À leste da microbacia, fora da mesma, os quatro perfis de caminhamento elétrico indicaram um espessamento do manto de alteração das cotas mais altas para as mais baixas, e também determinaram linhas de fraturas coincidentes com lineamentos estruturais observados na fotointerpretação. Na parte inferior da microbacia a drenagem encaixada no lineamento estrutural N–NW, corta os perfis geofísicos H–H' e I–I', entre as estações 11 e 12. Neste ponto observam-

se valores médios de resistividade elétricas, crescentes para leste e decrescentes para oeste, indicativos de uma zona de transição que foi interpretada como o contato entre a rocha sã e o início da zona fraturada. O perfil J–J' confirma a existência de uma faixa de baixos valores de resistividade de mais de 100 Ω.m, entre as estações 3 e 14, correlacionada ao início dos perfis H–H' e I–I'.

Por fim a Figura 2 apresenta também uma área mais propícia para a perfuração de um poço tubular, na porção oeste da microbacia, entre os perfis H–H' e I–I'.

O perfil L–L' (Figura 13) é perpendicular aos perfis H–H', I–I', J–J' e tem a estação 5 coincidente com a estação 4 dos perfis H–H' e I–I'.

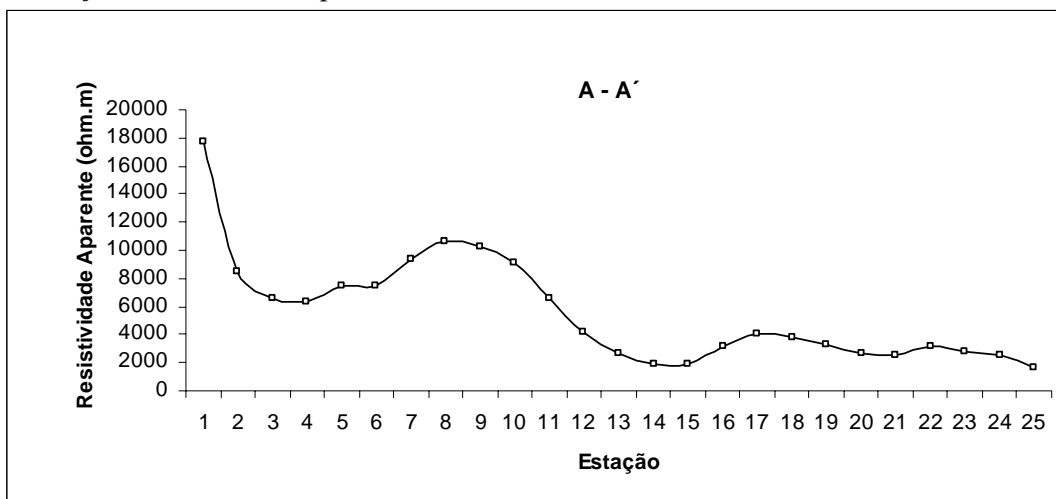


Figura 3 – Perfil de Caminhamento Elétrico A–A'

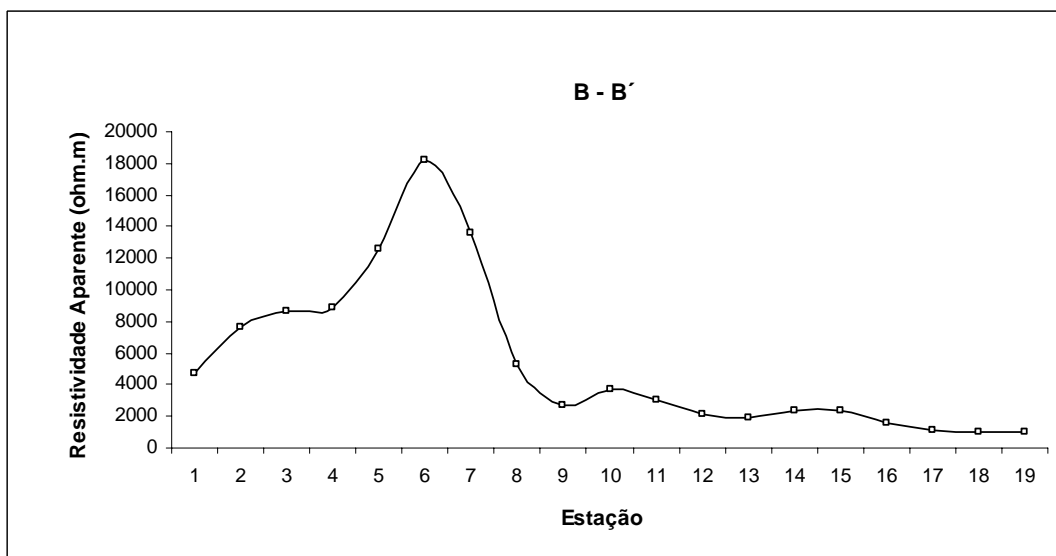


Figura 4 - Perfil de Caminhamento Elétrico B–B'

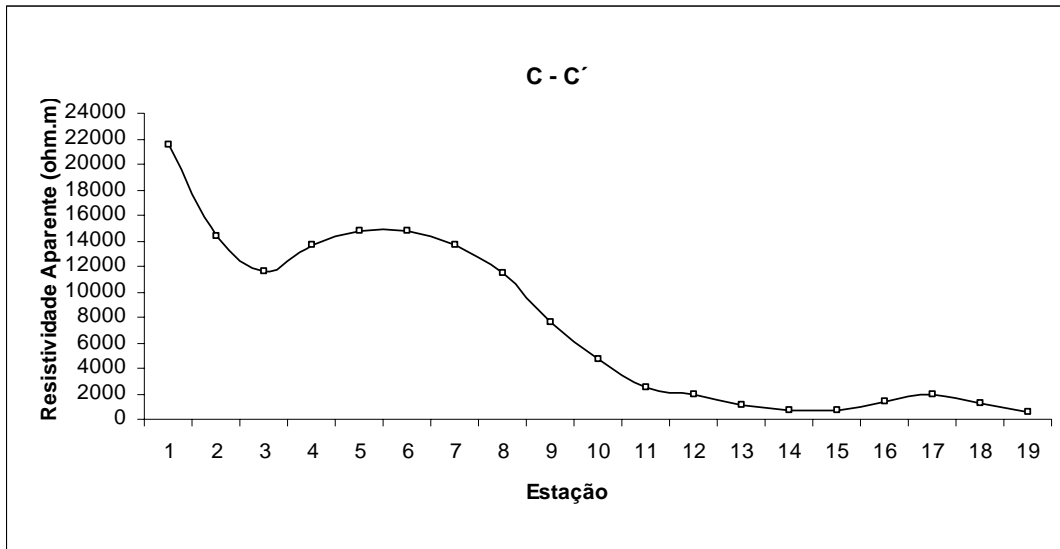


Figura 5: Perfil de Caminhamento Elétrico C-C'

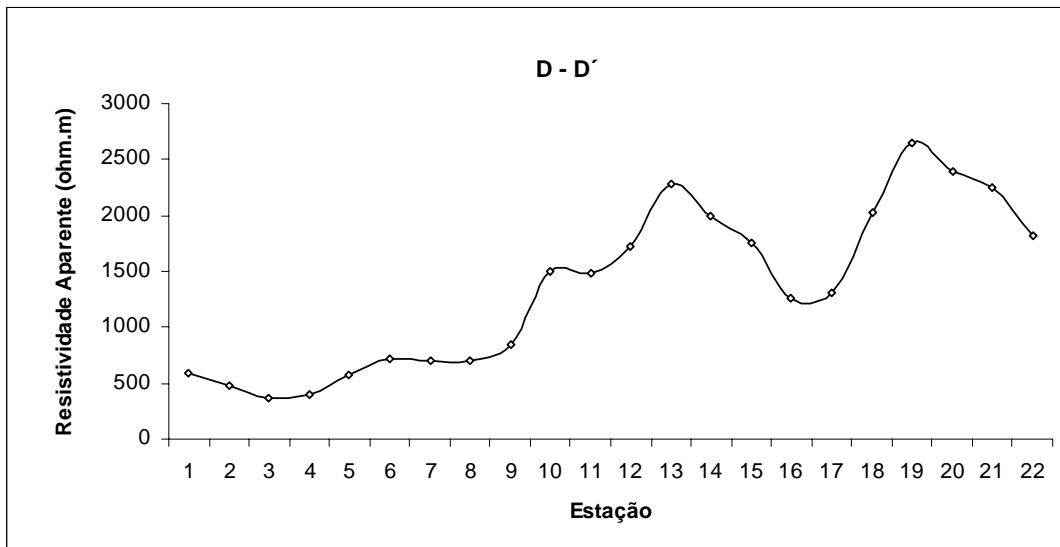


Figura 6 - Perfil de caminhamento elétrico D-D'

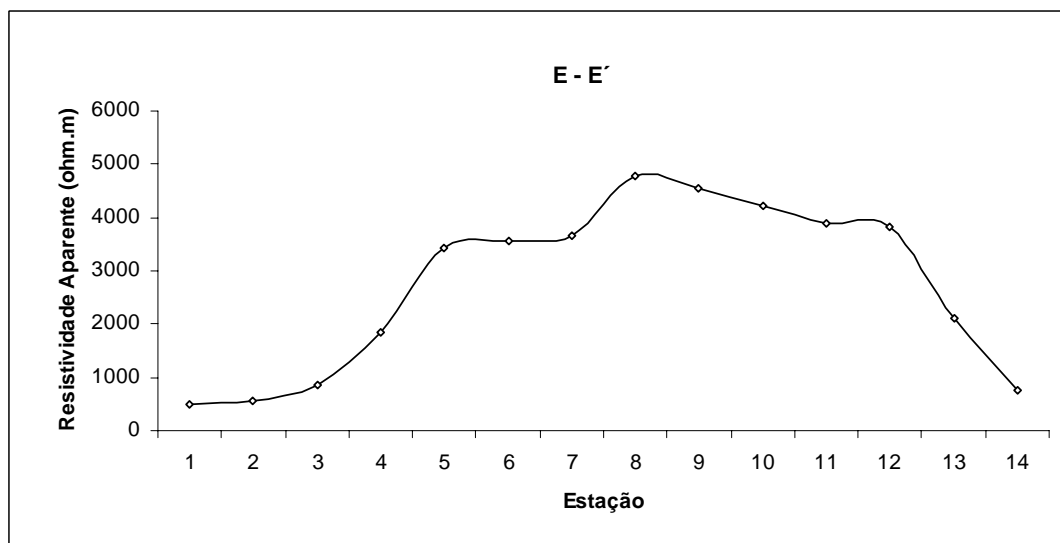


Figura 7 - Perfil de caminhamento elétrico E-E'

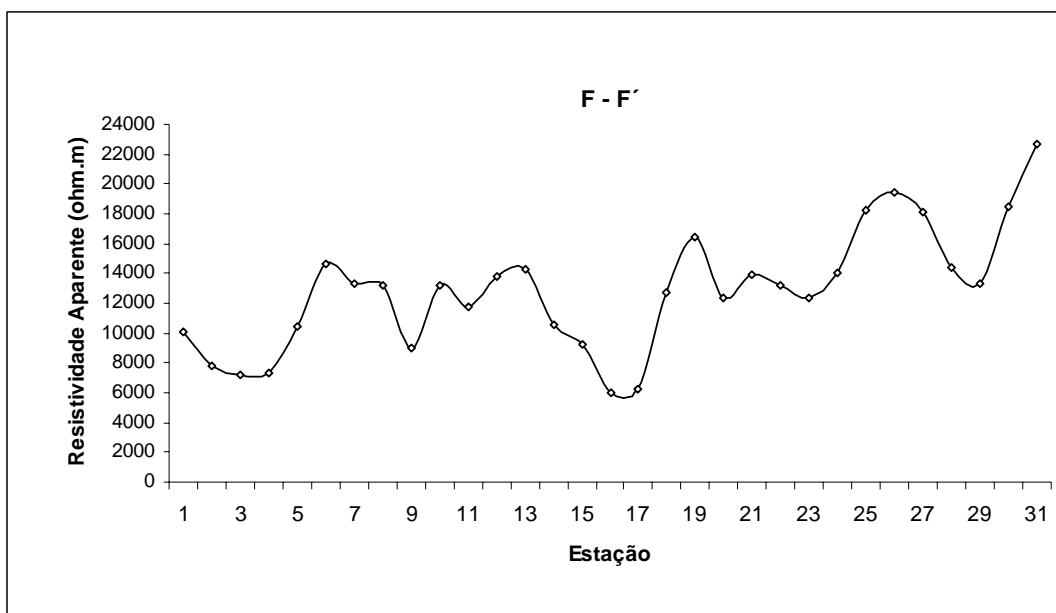


Figura 8 – Perfil de Encaminhamento Elétrico F-F'

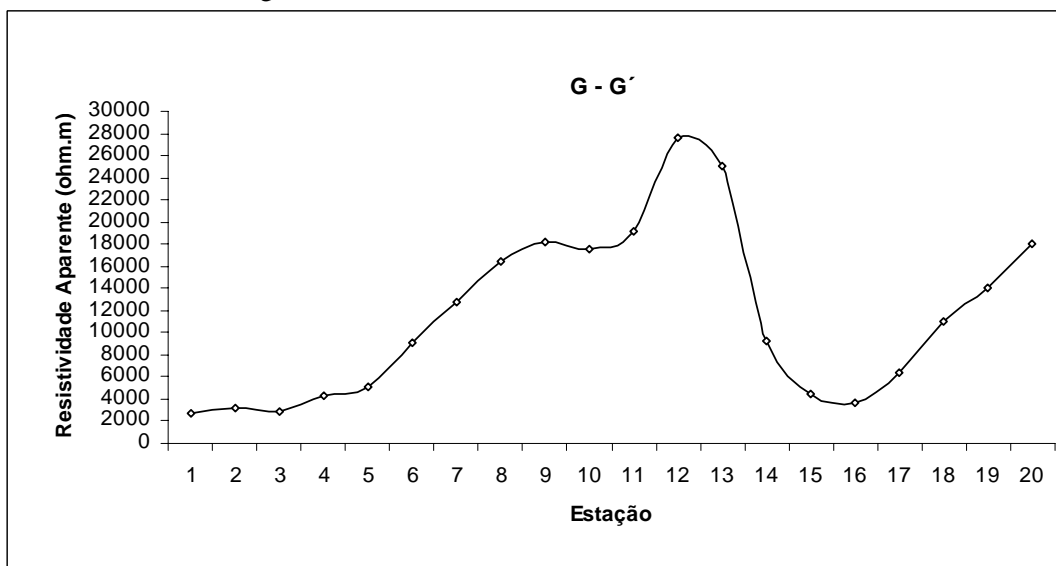


Figura 9 – Perfil de Caminhamento Elétrico G-G'

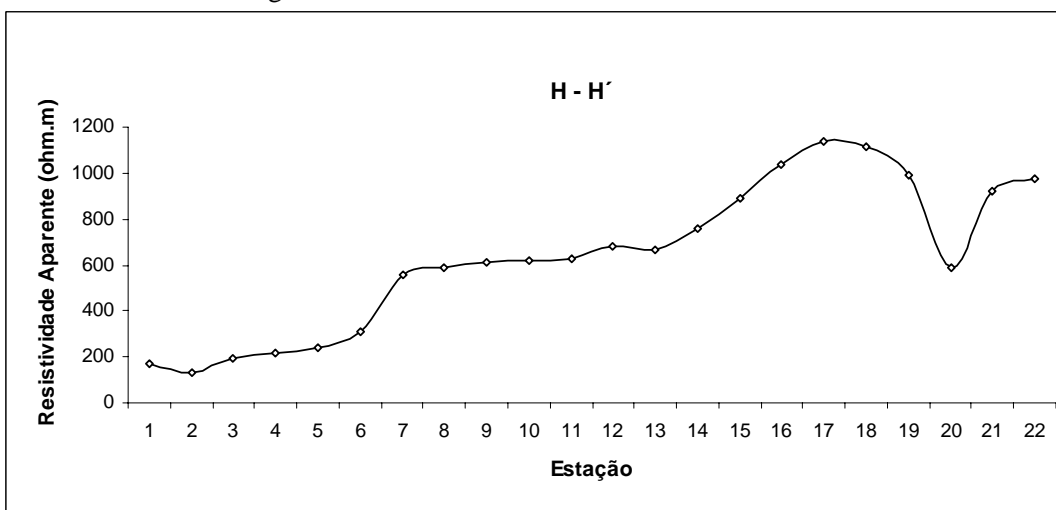


Figura 10 – Perfil de caminhada elétrica H-H'.



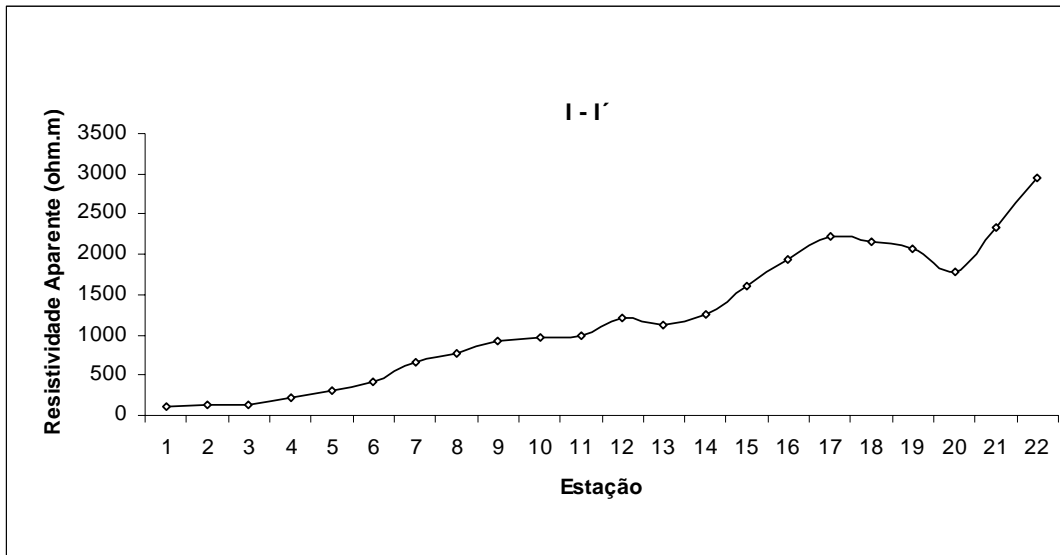


Figura 11 – Perfil de caminhamento elétrico I-I´.

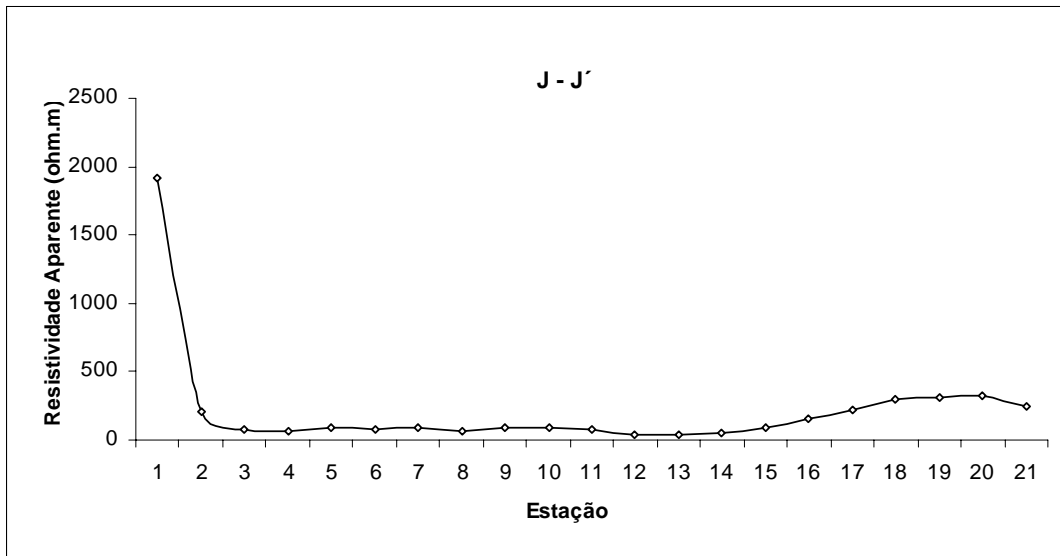


Figura 12 – Perfil de Caminhamento Elétrico J-J´

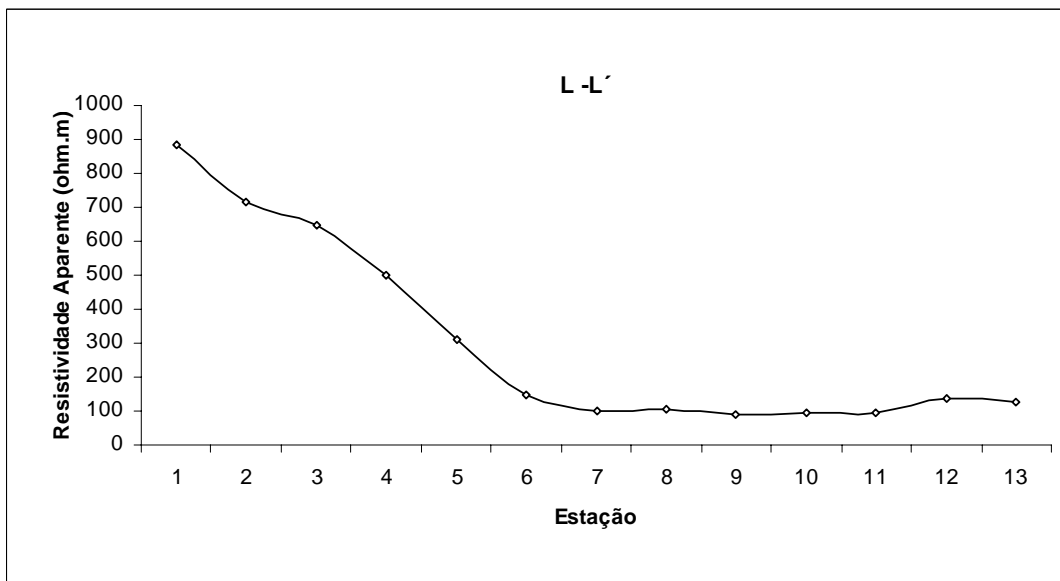


Figura 13 – Perfil de Caminhamento Elétrico L-L´

## HIDROGEOLOGIA

A microbacia hidrográfica situa-se em uma região de clima úmido, o que propiciou a formação de um espesso manto de alteração sobre a zona fraturada. Este binômio, manto de alteração-rocha com fraturas constituem no sistema de percolação e circulação das águas subterrâneas deste aquífero. Pela suas constituições originais, gnáissicas, este manto gerou um sistema que se comporta como um meio de porosidade intergranular e funciona como recarga que alimenta o aquífero fissural subjacente.

### Caracterização e Monitoramento das Vazões das Fontes

As fontes caracterizam-se como surgências situadas ao longo do canal de drenagem da microbacia sob estudo. A Fonte 1 (F1) origina-se em anfiteatro e situa-se a 1.650 m de altitude, nas cabeceiras do canal de drenagem principal (N-NE). A Fonte 2 (F2) encontra-se a 1.580 m e a Fonte 3 (F3) a 1.350 m, ambas situadas no mesmo canal de drenagem. Elas se caracterizam por surgências que alimentam o canal principal da microbacia, geralmente sob um sedimento orgânico, em “nichos” (sob rochas e/ou manto de alteração, ou em contato destes).

Outros pontos foram avaliados, como a Fonte 4 (F4) e Fonte 5 (F5), porém não foram monitoradas porque a primeira é uma drenagem intermitente e a segunda está em outra microbacia.

Os resultados dos monitoramentos das fontes 1, 2 e 3 encontram-se apresentados no gráfico da Figura 14, juntamente com os dados de precipitação da estação pluviométrica mais próxima – Alagoa, para o período de 1999–2000. Na Fonte 3, as vazões dos meses de janeiro a abril não foram plotadas, devido a impossibilidade de medição de grande volume de água ocorrente neste período. Os valores médios de vazão das fontes, observados no período foram: (1) F1–  $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (máxima de  $5,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  e mínima de  $0,30 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ); (2) F2–  $1,9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (máxima de  $8,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  e mínima de  $0,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ). A vazão média da F3 não foi calculada devido a impossibilidade de medição no período de chuva, mas a vazão mínima registrada no período foi de  $2,56 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

A vazão de recessão (depleção, restituição ou fluxo básico) em sub-bacias é definida como:

“vazão que ocorre em períodos de estiagem pelo esgotamento das reservas do sub-solo que afloram nas fontes e nos talvegues em cursos de água” (SILVEIRA; SILVEIRA, in PAIVA; PAIVA 2001).

Os escoamentos básicos das fontes foram obtidos pela seguinte equação de recessão (FETTER, 2001):

$$Q = Q_0 \cdot e^{-at} \quad (\text{equação 1})$$

Q= vazão em um tempo t depois do início da recessão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_0$ = vazão no início da recessão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

a=constante de recessão para uma bacia ( $\text{d}^{-1}$ )

Os valores obtidos para o cálculo da vazão Q são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 –Variáveis para cálculo da vazão de recessão das fontes monitoradas

	F1	F2	F3
$Q_0$ ( $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ )	1,70	2,27	7,955
a	0,012	$8,02 \times 10^{-3}$	$2,85 \times 10^{-3}$

Período considerado: 146 dias

As equações de recessão obtidas para este período foram:

$$\text{F1: } Q = 0,0017 \times e^{-0,012t}$$

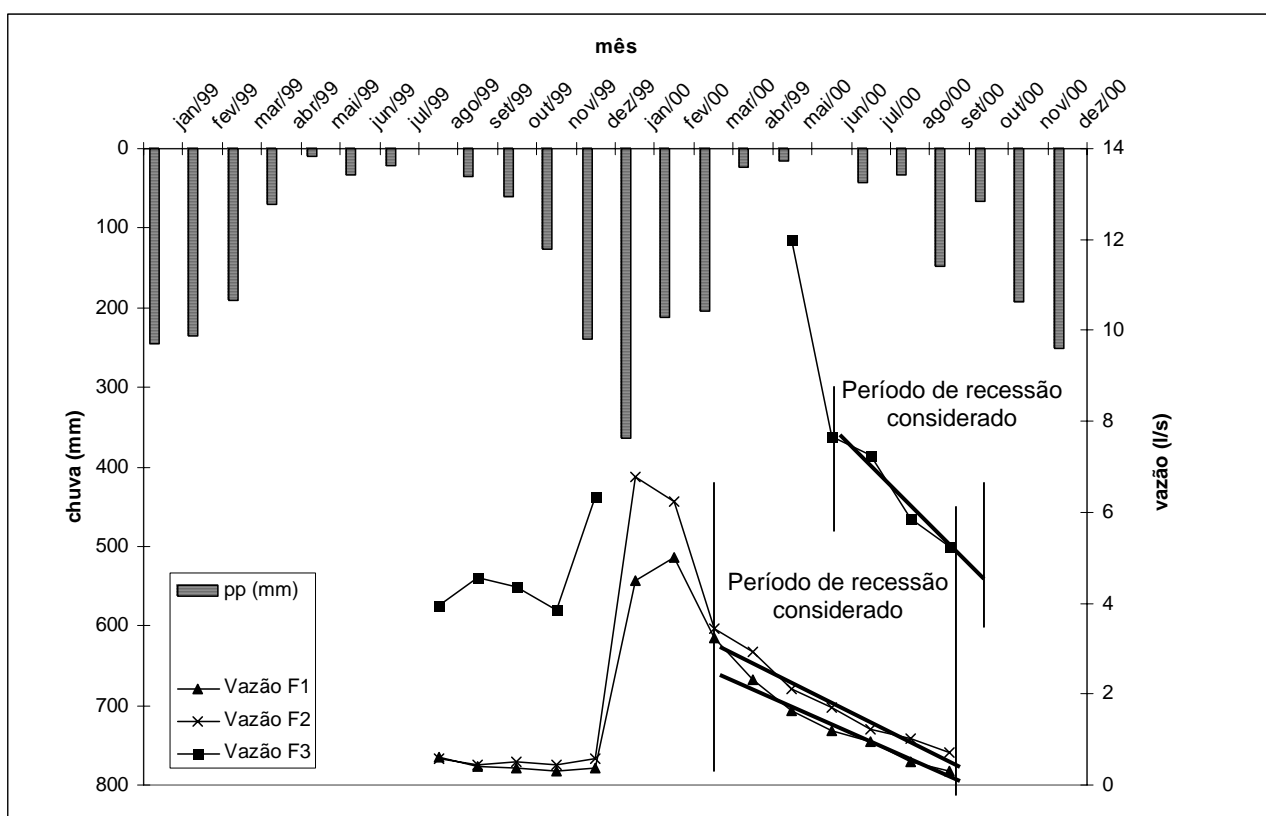
$$\text{F2: } Q = 0,0023 \times e^{-0,008t}$$

$$\text{F3: } Q = 0,0080 \times e^{-0,002t}$$

O escoamento básico (vazão mínima) possui valores de  $0,29 \times 10^{-3}$ ,  $0,71 \times 10^{-3}$  e  $5,98 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente para as fontes 1, 2 e 3, no período considerado.

Pela classificação das fontes segundo sua vazão (MEINZER, in De WIEST 1965), as fontes analisadas da microbacia são de Quarta e Quinta Magnitudes, conforme tabela 2.

O gráfico (Figura 14) mostra a variação das vazões das águas das fontes durante um ano, e seu comportamento apresenta uma relação direta com a precipitação. No entanto pode-se perceber um atraso das respostas em relação às chuvas. Grosso modo pode-se estimar uma resposta das chuvas nas águas das fontes de 4 meses no período de setembro a dezembro de 1999, para as fontes 1 e 2. A Fonte 3, situada em menor altitude, possui uma resposta mais rápida às precipitações.



Obs.: no período de janeiro a abril de 2000 não foi possível fazer medições na Fonte 3, pelo método proposto, devido às elevadas vazões.

Figura 14 - Variação da pluviosidade e das vazões das fontes 1, 2 e 3.

Tabela 2 - Classificação das fontes segundo sua vazão (MEINZER, in De WIEST 1965)

Magnitude	Vazão
Primeira	Maior que 2,83 m <sup>3</sup> /s
Segunda	0,283 a 2,83 m <sup>3</sup> /s
Terceira	28,3 a 283 L/s
<b>Quarta</b>	<b>6,31 a 28,3 L/s</b>
<b>Quinta</b>	<b>0,631 a 6,31 L/s</b>
Sexta	63,1 a 631 mL/s
Sétima	7,9 a 63,1 mL/s
Oitava	Menor que 7,9 mL/s

Os cursos de água intermitentes são aqueles que tem o volume armazenado no período chuvoso esgotado durante a estiagem. A reservação (ou armazenamento) de água é feita nos aquíferos freáticos em período chuvoso, que mantém a circulação subterrânea, descarregando água pelas nascentes, e mantendo o escoamento superficial (denominado básico, pelas vazões) nas estiagens.

A dinâmica das águas das fontes possui relação direta com a dinâmica superficial e subsuperficial da água de infiltração. Isso implica na variação da capacidade de infiltração do solo, função do tipo de solo (em termos de

permeabilidade), presença ou não da vegetação e macroporos, e condições de umidade desse solo (FETTER, 2001).

O gráfico (Figura 14) apresenta o comportamento das fontes em estudo, o início do período de recesso em março de 2000. Infelizmente não houve continuidade de monitoramento deste período, porém observa-se que há tendência de se manter em mesmo patamar que no período de recesso passado (agosto a dezembro de 1999).

As sub-bacias das fontes F1 e F2 situadas nas porções mais altas da microbacia podem ser consideradas como áreas de recarga, que alimentariam o sistema de fraturas subjacente. Já a fonte F3, mais a jusante, receberia outras contribuições, além das águas da chuva; de quase toda a área de estudo.

As vazões de recesso registradas indicam a existência de uma reserva do aquífero (manto de alteração – rocha fraturada) nas fontes F1 a F3, alimentando a drenagem principal da microbacia (N-NE) durante o período de agosto a dezembro de 1999 (particularmente as fontes F1 e F2).

A drenagem de sentido N-NW, em suas cabeceiras, é intermitente e isso pode indicar uma reserva menor ou não reservação nas cabeceiras desta drenagem primária, por fraturamentos

fechados ou impermeabilizados. Esta hipótese é carente de comprovações e necessita de maiores estudos no local.

Em termos de dinâmica de subsuperfície, a presença de fluxos na zona não saturada (*interflow e throughflow*, FETTER, 2001), possui contribuição significativa, principalmente nos períodos chuvosos, e de início da estiagem, período de janeiro a setembro de 2000.

### Composição Química das Águas das Fontes

As análises químicas das fontes F1, F2, F4 e F5 apresentaram águas de aspecto límpido, inodoras, com baixa presença de sólidos em suspensão e baixa turbidez. São águas levemente ácidas até neutras (pH entre 5,40 e 7,46), com baixa mineralização (resíduo seco entre 14,67 e 22,98 mg/L) e baixa dureza. Há a presença de nitrogênio amoniacal nas fontes F1 e F2 (0,097 e 0,012 mg/L respectivamente), nitrogênio albuminóide nas fontes F1, F2 e F5 (0,053, 0,100, 0,010 mg/L), presença de nitrato nas fontes F1, F2 e F4 (0,17, 0,2 e 0,03 mg/L), fluoreto nas

fontes F1, F4 e F5 (0,038, 0,001 e 0,002 mg/L), fosfatos (0,07, 0,2, 0,09 e 0,02 mg/L), sulfatos nas fontes F1 e F2 (0,12 e 0,10 mg/L) e cloretos em todas as fontes analisadas (0,118, 0,10, 0,086 e 0,122 mg/L).

Algumas análises identificaram presença de ferro total (0,071mg/L e 0,062 mg/L) nas fontes F1 e F2 respectivamente. Os elementos Bário, Lítio, Manganês, Estanho, Estrôncio, Selênio e Zinco apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção (< 0,01 mg/L).

O diagrama de Piper indica para as águas das fontes 1 e 2, que possuíam análises completas, composição bicarbonatada mista e bicarbonatada cálcica, apresentada na Figura 15.

Os resultados destas análises indicam para a área de estudo águas de baixa mineralização, que circulam rapidamente sob o manto de alteração após a infiltração e descarregam nas fontes analisadas. As presenças de elementos do ciclo de nitrogênio e fosfato são decorrentes do ecossistema local, e indicativos também desta dinâmica.

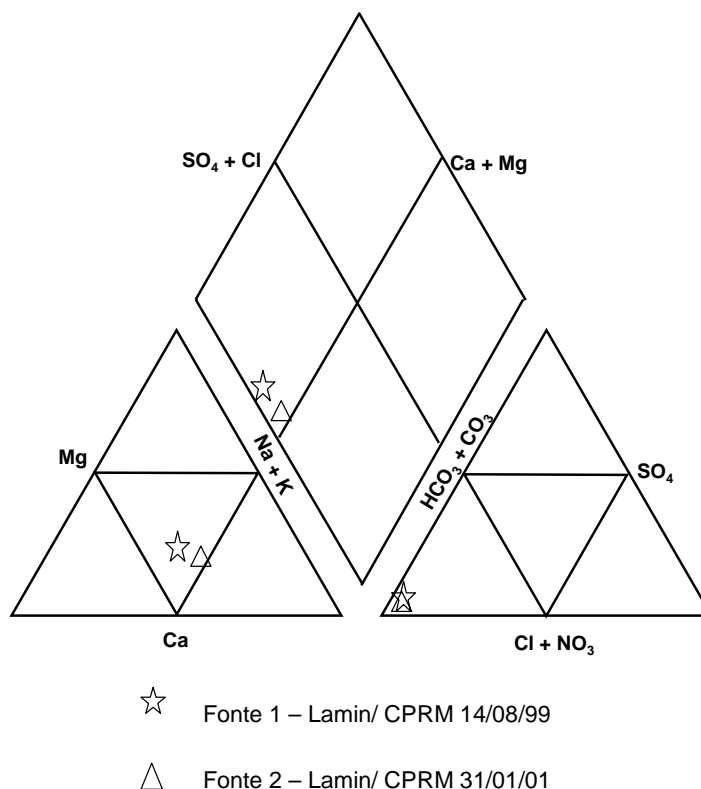


Figura 15 – Diagrama de Piper com a classificação das águas das fontes

### Balço Hídrico – estimativa da infiltração

O balanço hídrico foi elaborado na pretensão de se estimar o valor infiltrado na bacia durante o ano monitorado. Para efetuar o balanço hídrico foram consideradas as áreas à montante das fontes estudadas (as sub-bacias).

A equação clássica de balanço hídrico utilizado foi:

$$P = EVT + Q_s + Q_i \quad (\text{equação 2}),$$

Onde:

P= precipitação média anual

EVT= evapotranspiração potencial

Qs= escoamento superficial

Qi= infiltração.

A evapotranspiração potencial foi determinada aplicando-se o método apresentado em THORNTON; MATHER (1955), utilizando como armazenamento máximo de 125 mm, precipitação média mensal do Posto Alagoa e temperaturas médias mensais dos anos de 1999 e 2000 provenientes do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais - CPTEC/ INPE. O resultado foi a classificação de um clima Úmido, Mesotérmico, com totais de precipitação de 1.319 mm/ano e evapotranspiração potencial de 935 mm/ano. Considerou-se que a evapotranspiração real possui o mesmo valor que a evapotranspiração potencial (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997). Deste modo, foram obtidos os valores de volumes de infiltração apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Estimativas dos valores de escoamento superficial e infiltrado.

Fonte	Qs (mm/ano)	Qi (mm/ano)
F1	237,56	146,44
F2	234,67	149,33
F3	773,72	0 (- 389,72)

Qs + Qi = 384 mm/ano

Os valores de infiltração corresponderam a 38% da evapotranspiração para as fontes F1 e F2. No entanto, a fonte 3 a infiltração foi nula, havendo um excedente de 389,72 mm/ano. Neste último caso, há que se considerar os problemas de medição de vazão nas épocas de chuva (sendo estimadas as vazões para este período), ou ainda, caso esses erros não sejam relevantes, uma região de descarga de água subterrânea.

## CONCLUSÕES

A alta declividade da área de estudo faz com que a circulação de água seja rápida, cujo tempo de permanência seja de aproximadamente três meses. A micro bacia estudada é um sistema em equilíbrio dinâmico, no qual o nível freático oscila durante as variações sazonais. As fontes F1 e F2 situadas nas porções mais elevadas desta microbacia são áreas de infiltração, que alimentam a zona saturada. A fonte F3 situada em cota mais baixa recebe a descarga de quase toda a micro bacia somada às contribuições do aquífero fraturado. No período de estiagem, as vazões mínimas registradas indicam uma capacidade de reservação do aquífero subjacente.

É interessante destacar a existência da drenagem intermitente (direção N–NW) na porção mais alta da área de estudo, indicando a baixa capacidade de reservação na bacia de contribuição, que não contribui para a formação de escoamento básico durante o período de estiagem.

O uso do método geofísico de eletroresistividade para definição de estruturas em subsuperfície aliada aos estudos hidrológicos e hidrogeológicos é um ferramental interessante para se entender a geometria do aquífero e suas interrelações com a água superficial e subsuperficial. Os lineamentos estruturais captados em fotos aéreas são representativos de zonas de fraturamento.

Na drenagem de primeira ordem da área de estudo, as fraturas estão localizadas logo abaixo do canal de drenagem principal, no entanto logo na porção mais baixa (canal de segunda ordem), a zona de fraturas está deslocada 100 m do canal.

Os valores médios de vazão das fontes, observados no período foram: (1) F1–  $1,4 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s (máxima de  $5,1 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s e mínima de  $0,30 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s); (2) F2–  $1,9 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s (máxima de  $8,8 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s e mínima de  $0,35 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s). A vazão média da fonte F3 não foi calculada devido a impossibilidade de medição.

Há um retardo das vazões em relação às precipitações em cerca de 4 meses. As vazões de recessão, que indica contribuição da água subterrânea nas nascentes em épocas de estiagens, foram determinadas em  $0,29 \times 10^{-3}$ ,  $0,71 \times 10^{-3}$  e  $5,98 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s respectivamente para as fontes F1, F2 e F3.

As águas são de baixa mineralização e de composição bicarbonatadas mistas e cálcicas. O cálculo do balanço hídrico estimou para as fontes F1 e F2, taxa de infiltração de 146,44 e 149,33 mm/ano respectivamente, em que suas bacias de contribuição são áreas de recarga. Para a fonte F3 estima-se uma contribuição significativa de toda a área de estudo e predomínio de condições de descarga do aquífero.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer o apoio do CNPq pela bolsa de mestrado, aos Srs. Venício Horta Jardim Bastos e Ricardo Jorge Amorim, pela disponibilização da área de estudo, ao geofísico Edison Pinto Figueira e aos geólogos Agenor Pereira de Souza e César Antonio Schenini.

## REFERÊNCIAS

- BRANDALISE, L.A.; RIBEIRO, J.H.; FERRARI, P.G. **Projeto Vale do Paraíba do Sul. Relatório Final**. 1976. DNPM/ CPRM, Superintendência Regional de Belo Horizonte.
- Cavalcante, J.C.; Cunha, H.C. da S.; Chierigati, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M. DA; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G. DA N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí, Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Relatório Final** de Geologia. 1979. DNPM/ CPRM, Superintendência Regional de São Paulo, Série Geologia nº 5. Seção Geologia Básica.
- DE WIEST, R. **Geohydrology**. John Wiley. 1965.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 1997.
- FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. New Jersey. Prentice Hall. 2001.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZÁLES, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A. DOS; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F. **Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF-23/24, Rio de Janeiro/ Vitória (Geologia)**. 1983. MME.
- NOGUEIRA, J.R. **Evolução geológica dos terrenos de alto grau metamórfico da Faixa Ribeira na região de Juiz de Fora, Minas Gerais**. Campinas, 1999. Tese (Doutorado em Metalogênese e Geoquímica), Instituto de Geociências – UNICAMP.
- PANE, E. **Estudo Hidrológico, Hidrogeológico e Geofísico no município de Itamonte – MG. Campinas**, 2001. Dissertação (Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais) – Instituto de Geociências – UNICAMP.
- SILVEIRA, A.L.L.; SILVEIRA, G.L. CAPÍTULO 5. VAZÕES MÍNIMAS In: PAIVA, J.B.D. ; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre. ABRH. 2001
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. Cnterion. New York. 1955.