

---

---

## CAPÍTULO 5 – HIDROQUÍMICA

### 5.1 Constituintes das Águas Subterrâneas e Superficiais – Abordagem Conceitual

A água é um solvente quimicamente muito ativo capaz de reagir com o meio percolado incorporando substâncias orgânicas e inorgânicas. Desta forma, quando considerados exclusivamente processos naturais, os principais constituintes presentes nas águas resultam de processos físicos e químicos de intemperismo de rochas. O intemperismo físico está associado à fragmentação das rochas. Já o intemperismo químico envolve processos de alteração mineral por meio de reações de hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxi-redução e complexação (Faust & Aly, 1981). Assim, são formados minerais secundários (de alteração) e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático.

Visto que as rochas apresentam condições de instabilidade na presença de água, o intemperismo químico pode ser interpretado como a tendência do sistema água/rocha a alcançar o equilíbrio físico-químico.

Em águas subterrâneas, os solutos e suas concentrações são conseqüentes dos litotipos dos aquíferos, do tipo de alteração mineral, do fluxo e taxa de recarga do aquífero. Por sua vez, as reações químicas de alteração mineral dependem do tempo de contato água/rocha, temperatura, do CO<sub>2</sub> disponível e da presença de ácidos inorgânicos e orgânicos.

A composição física e química das águas subterrâneas irá refletir a mobilidade e solubilidade dos elementos envolvidos no processo de intemperismo (Drever, 1997). Os cátions Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> são móveis e tendem a ser liberados facilmente por intemperismo; K<sup>+</sup> é intermediário; Al<sup>3+</sup> e Fe<sup>3+</sup> apresentam menor mobilidade e tendem a permanecer no solo. Desta forma, os plagioclásios podem constituir fontes de Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> para o ambiente aquático, enquanto que biotita e feldspato potássico podem ser fontes de Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>.

A presença de constituintes dissolvidos nas águas subterrâneas depende também de fatores externos ao meio percolado, tal como o clima (Drever, 1997). As águas pluviométricas podem promover a concentração ou a diluição dos constituintes iônicos das águas subterrâneas. Além disso, as águas meteóricas podem ser importantes fontes de espécies químicas dissolvidas tais como Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Na<sup>+</sup>.

A composição natural das águas superficiais também é controlada por inúmeros processos naturais, os quais incluem: geológicos e pedológicos (espécies minerais, tipos de solos); químicos (solubilidade dos minerais); geomorfológicos (variações de relevo), climáticos (temperatura, precipitação, evaporação) e biológicos (cobertura vegetal, presença de organismos).

As características naturais das águas podem ser alteradas em função do uso e ocupação do meio físico. A disposição inadequada de resíduos domésticos, industriais, de mineração, a utilização de pesticidas e fertilizantes constituem as principais fontes de poluição ou contaminação dos recursos hídricos.

A composição natural e a verificação de indícios de poluição ou contaminação das águas podem ser avaliadas por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Esta avaliação é fundamental para determinação da adequabilidade das águas em função do uso requerido.

## **5.2 Parâmetros Monitorados**

A seguir é apresentada uma breve descrição dos principais parâmetros monitorados neste estudo. Esta descrição é baseada nas seguintes bibliografias: Custódio & Llamas (1983), Drever (1997), Faust & Aly (1981), Hounslow (1995), Logan (1965), Santos (1997), Sawyer *et al.* (1994) e Von Sperling (1996).

### **5.2.1 Parâmetros Físicos e Propriedades Iônicas**

- Condutividade elétrica (CE) - é a medida da facilidade da água em conduzir a corrente elétrica. É diretamente proporcional ao teor de sólidos dissolvidos sob a forma de íons.
- Cor - resulta da presença de substâncias dissolvidas na água, provenientes principalmente da lixiviação de matéria orgânica.
- Dureza – é a medida da capacidade da água em consumir sabão e formar incrustações. Deve-se principalmente à presença de compostos de cálcio e magnésio, em geral sob a forma de carbonatos, sulfatos e cloretos. Segundo Custódio & Llamas (1983) as águas com dureza total inferior a 50 mg/L CaCO<sub>3</sub> são do tipo brandas, de 50 a 100 mg/L CaCO<sub>3</sub> são pouco duras, de 100 a 200 mg/L CaCO<sub>3</sub> são duras e acima de 200 mg/L CaCO<sub>3</sub> são muito duras.

- pH - é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado por reações químicas e por equilíbrio entre os íons presentes. O pH é essencialmente função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água.
- Potencial de oxi-redução (Eh) – determina a característica do ambiente quanto à fugacidade de oxigênio (reduztor/oxidante), controlando inúmeros processos químicos que ocorrem na natureza.
- Sólidos totais dissolvidos (STD) - refere-se à concentração de íons dissolvidos presentes nas águas.
- Turbidez - representa o grau de interferência que a água apresenta à passagem de luz, devido à presença de carga sólida em suspensão.

### 5.2.2 Parâmetros Químicos

#### *Cátions Principais*

- *Cálcio* ( $Ca^{2+}$ ) - representa um dos principais elementos responsáveis pela dureza nas águas. É amplamente distribuído em rochas e solos. As fontes geológicas são muitas, tendo como exemplos anortita ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) e calcita ( $CaCO_3$ ).
- *Magnésio* ( $Mg^{2+}$ ) - é mais solúvel e mais difícil de precipitar quando comparado ao cálcio. É também responsável pela dureza nas águas. Um exemplo de mineral fonte é a biotita  $[K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2]$ .
- *Potássio* ( $K^+$ ) - devido à sua intensa participação em processos de troca iônica, da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais, possui normalmente concentrações mais baixas nas águas quando comparadas com as de cálcio e de magnésio. Exemplos de minerais fontes são feldspatos potássicos como microclina ( $KAlSi_3O_8$ ) e o ortoclásio.
- *Sódio* ( $Na^+$ ) - sua ocorrência está associada às seguintes características: ampla distribuição em minerais fontes; baixa estabilidade química dos minerais que o contém; solubilidade elevada e difícil precipitação dos seus compostos químicos em solução. A albita ( $NaAlSi_3O_8$ ) é exemplo de fonte sódio.

A tabela 09 apresenta exemplos de reações de hidrólise de silicatos.

Tabela 09: Reações de hidrólise de silicatos (Faust & Aly, 1981).

MINERAL FONTE	REAÇÃO	MINERAL DE ALTERAÇÃO
Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O} + = \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_{4(\text{s})}$	Caulinita
Biotita	$2\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{s}) + 14\text{CO}_2 + 15\text{H}_2\text{O} = 2\text{K}^+ + 6\text{Mg}^{2+} + 14\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_{4(\text{s})}$	Caulinita
Microclina	$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{s}) + 12\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ = 2\text{K}^+ + 6\text{H}_4\text{SiO}_4 + \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_{2(\text{s})}$	Muscovita
Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{H}^+ + 4.5\text{H}_2\text{O} = \text{Na}^+ + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 0.5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_{4(\text{s})}$	Caulinita

### Ânions Principais

- Cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) – são solúveis e estáveis em solução e dificilmente formam precipitados. Minerais fontes de cloro são halita ( $\text{NaCl}$ ) e silvita ( $\text{KCl}$ ).
- Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) - são sais moderadamente a muito solúveis, exceto sulfatos de estrôncio e de bário. A presença de sulfato nas águas está relacionada à oxidação de sulfetos nas rochas e à lixiviação de compostos sulfatados como gipsita e anidrita.
- Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) – podem precipitar com certa facilidade como bicarbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), mas estes íons não sofrem oxidação e nem redução nas águas naturais. Segundo Logan (1965) o bicarbonato predomina sobre o carbonato na faixa de pH de 6 a 10.

### Série Nitrogênio

O nitrogênio ocorre em diversas formas e estados de oxidação. No meio aquático pode ser encontrado nas seguintes formas: Nitrogênio orgânico ( $\text{N}_\text{O}$ ) → Nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) → Nitrito ( $\text{NO}_2$ ) → Nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Teores de nitrato acima de 10mg/L podem ser indicativos de contaminação por atividades antrópicas.

### Oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção do equilíbrio no ambiente aquático. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do OD nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Nas águas subterrâneas pode estar em pequena quantidade, já que maior parte do ar dissolvido é consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação da água na zona de aeração.

A DQO é a medida da capacidade da água em consumir oxigênio durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é portanto uma indicação indireta da matéria orgânica presente.

A DBO mede a quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica contida na água mediante processos bioquímicos aeróbicos. É uma indicação indireta do carbono orgânico biodegradável.

### 5.2.3 Parâmetros Microbiológicos

#### *Coliformes Totais (CT)*

São definidos como todos os bacilos gram-negativos, aeróbios facultativos, não formadores de esporos e com oxidase-negativa, capazes de crescer na presença de sais biliares. A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicativo da possibilidade de existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

#### *Streptococos fecais (EF)*

Essas bactérias não conseguem se multiplicar em águas poluídas, sendo sua presença indicativa de contaminação fecal recente. A ocorrência dessas bactérias pode, portanto indicar a presença de organismos patogênicos nas águas.

A relação entre coliformes termotolerantes e estreptococos fecais (CT/EF) pode ser um indicador sobre a origem da contaminação (Von Sperling, 1996). Adotam-se as seguintes relações e limites:

- $CT/EF > 4$  – contaminação predominantemente de origem humana;
- $CT/EF < 1$  – contaminação predominantemente por fezes de animais;
- $1 < CT/EF < 4$  – interpretação duvidosa.

### 5.3 Rede de Monitoramento

A rede de monitoramento deste estudo é composta por 15 pontos de amostragem distribuídos nas bacias dos córregos Água Santa e Palmeiras. Estes pontos foram selecionados de modo a determinar as características físico-químicas e microbiológicas das águas e identificar possíveis alterações nestas águas em função de interferências antrópicas no meio físico.

A caracterização e distribuição dos pontos de amostragem são apresentadas respectivamente, na tabela 10 e Anexo I. A contextualização dos pontos de amostragem pode ser realizada sobrepondo o mapa de pontos (Anexo I) aos mapas Geológico (Capítulo 03, Figura 10) e Hidrogeológico (Capítulo 04, Figura 24).

As descrições dos pontos de amostragem são apresentadas a seguir.

### **5.3.1 Nascentes**

A rede de monitoramento conta com dois pontos de amostragem em nascentes, os quais estão situados em bacias hidrográficas e associados a litologias distintas. O ponto VSM03 (Figura 25) localiza-se na Bacia do Córrego Água Santa e está associado ao aquífero xistoso. O ponto VSM11 (Figura 26) localiza-se na Bacia do Córrego Palmeiras e está associado ao aquífero granítico.

Estes pontos foram selecionados de modo a caracterizar a composição das águas provenientes dos dois principais aquíferos da área de estudo e pela importância destas surgências como fontes de abastecimento para populações locais.

### **5.3.2 Águas Superficiais**

Os pontos de amostragem relacionados às águas superficiais estão distribuídos nas bacias dos córregos Água Santa e Palmeiras.

Na Bacia do Córrego Água Santa dois pontos de amostragem foram implantados: VSM01, localizado nas proximidades da cabeceira e VSM02, no baixo curso do córrego. Inicialmente tentou-se implantar um terceiro ponto de amostragem, posicionado na foz do Córrego Água Santa. Entretanto, foi constatado que cerca de 500m a jusante do ponto de amostragem VSM02 o córrego já não é perene e a amostragem tornou-se inviável. O desmatamento associado ao freqüente represamento irregular ao longo da drenagem resultou nesta condição de ausência de perenidade.

Com o objetivo de determinar possíveis influências das atividades de mineração sobre as águas do Córrego Água Santa, o ponto VSM01 (Figuras 27 e 28) foi locado a montante das áreas mineradoras e o ponto VSM02 foi locado a jusante destes locais.

Na Bacia do Córrego Palmeiras também foram implantados dois pontos de amostragem: VSM14 e VSM12. O ponto de amostragem VSM14 (Figura 29) foi locado a montante dos garimpos e das vilas garimpeiras, enquanto que o ponto VSM12 foi locado a jusante destes locais.

### 5.3.3 Águas Subterrâneas

Os pontos de amostragem estão localizados principalmente em lavras pegmatíticas (Figuras 30 e 31) e correspondem a pontos de ocorrência de água subterrânea em consequência do avanço de atividades de mineração em profundidade. Estes locais representam uma importante fonte de captação de água para o abastecimento de vilas garimpeiras e fazendas, localizadas nas imediações dos garimpos.

As lavras pegmatíticas apresentam dimensões variadas. Na Bacia do Córrego Água Santa, a lavra amostrada (VSM05) apresenta maiores dimensões em relação às demais lavras em estudo. É composta por galerias com altura média de 1,8 m e largura em torno de 1,0 m. A profundidade de amostragem da água subterrânea foi de aproximadamente 15,0 m em relação à cota de entrada da galeria. Esta lavra estava ativa nas duas primeiras campanhas de amostragem, sendo intenso o uso de explosivos para a abertura de galerias. Já na última campanha de amostragem a lavra VSM05 estava desativada.

Na Bacia do Córrego Palmeiras, as lavras amostradas (VSM07, 08, 09, 10, 13 e 15) apresentam altura média de 1,5 m, largura em torno de 0,8 m e profundidade média de 8,0 m em relação à cota de entrada da galeria. As lavras pegmatíticas referentes aos pontos VSM 07, 08 e 09 estavam desativadas em todas as campanhas de amostragem de água, enquanto que as lavras VSM10, 13 e 15 estavam ativas.

A amostragem do lençol subterrâneo foi realizada também em dois poços tubulares. De acordo com dados fornecidos pela Copasa de Coronel Murta o poço referente ao ponto de amostragem VSM04 possui profundidade de 70,0 m com entradas de água localizadas a partir dos 40,0m no aquífero xistoso. A vazão é de cerca de 1,5 m<sup>3</sup>/h. Já o poço referente ao ponto de amostragem VSM06 possui profundidade de 80,0m com entradas de água localizadas a partir dos 64,0m no aquífero granitóide. A vazão é de cerca de 3,0 m<sup>3</sup>/h.

Tabela 10: Caracterização dos pontos de amostragem.

Código	Nome	Coordenadas UTM			Tipo de Água	Bacia Hidrográfica	Geologia/Hidrogeologia
		E	N	Altitude (m)			
VSM01	Córrego Água Santa, a montante de Lufi Mineração	792586	8151110	545	Superficial	Água Santa	-
VSM02	Córrego Água Santa, a jusante da Lufi Mineração	792764	8157471	430	Superficial	Água Santa	-
VSM03	Nascente, afluente margem esquerda do Córrego Água Santa.	792910	8158300	345	Nascente	Água Santa	Xisto
VSM04	Poço Tubular, Comunidade Jatobá	792860	8158230	348	Subterrânea	Água Santa	Xisto
VSM05	Lavra Pegmatítica Rodovia MG 114	792260	8156650	410	Subterrânea	Água Santa	Pegmatito
VSM06	Poço Tubular, Sede Municipal	800670	8161160	320	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito
VSM07	Lavra Pegmatítica Morrão A	800420	8167070	760	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito
VSM08	Lavra Pegmatítica Lorena A	800400	8166480	750	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito
VSM09	Lavra Pegmatítica Lorena B	801780	8165320	450	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito
VSM10	Lavra Pegmatítica Pau Alto	800790	8169060	770	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito
VSM11	Nascente, afluente margem esquerda do Córrego Palmeiras	802415	8169160	620	Nascente	Palmeiras	Pegmatito
VSM14	Córrego Palmeiras, a montante dos complexos de lavras Lorena e Pau Alto	800550	8169670	710	Superficial	Palmeiras	-
VSM12	Córrego Palmeiras, a jusante dos complexos de lavras Lorena e Pau Alto	801435	8165147	550	Superficial	Palmeiras	-
VSM13	Lavra Pegmatítica Lorena C	800570	8166360	700	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito
VSM15	Lavra Pegmatítica Morrão B	800410	8166790	720	Subterrânea	Palmeiras	Pegmatito





Figura 25: Captação de água de nascente cerca de 50,0 m a jusante do ponto de monitoramento VSM03, Bacia Hidrográfica do Córrego Água Santa.

Figura 26: Área de nascente, Bacia Hidrográfica do Córrego Palmeiras, ponto VSM11.

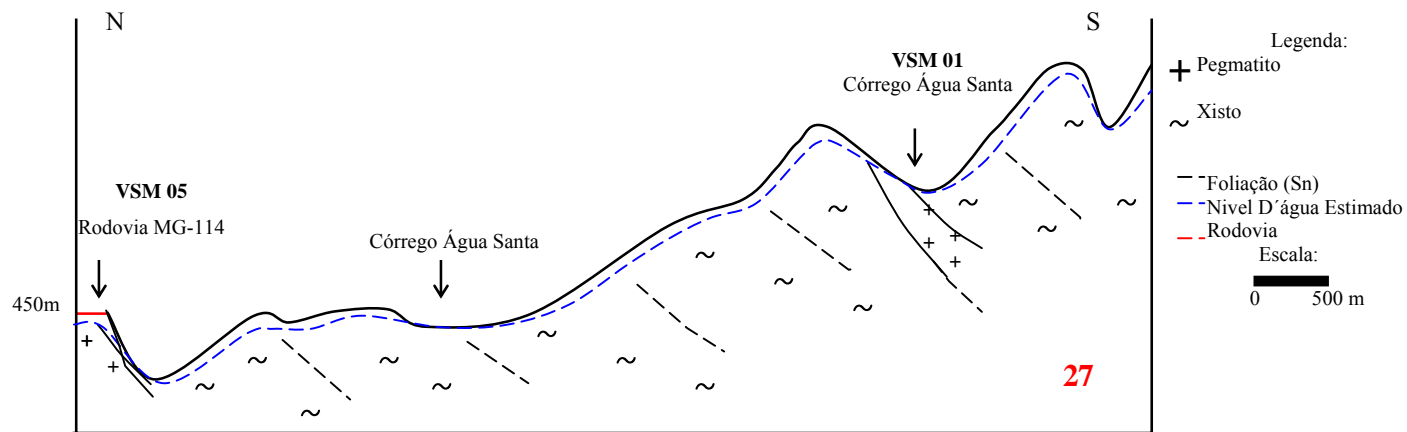


Figura 27: Perfil geológico esquemático com representação dos pontos VSM01 e VSM05.



Figura 28: Cabeceira do Córrego Água Santa, ponto VSM01.

Figura 29: Córrego Palmeiras a montante da barragem de captação de água para as vilas garimpeiras, ponto VSM14.



Figura 30: Galeria com ocorrência de água subterrânea, Bacia do Córrego Palmeiras, ponto VSM07.

Figura 31: Ocorrência de água subterrânea em lavra pegmatítica, Bacia do Córrego Palmeiras, ponto VSM08.

## 5.4 Hidroquímica da Região de Coronel Murta

### 5.4.1 Resultados Analíticos

No Anexo II são apresentados os dados físicos, químicos e microbiológicos das 35 amostras de água coletadas neste estudo.

Os resultados analíticos dos elementos traços (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel, titânio e zinco) apresentam limites de detecção mais baixos na primeira campanha de amostragem devido à utilização do ICP-MS. Já nas duas últimas campanhas, em função da indisponibilidade de utilização deste aparelho as análises foram feitas por absorção atômica, que apresenta limites de detecção mais altos.

A caracterização hidroquímica apresentada neste capítulo é baseada em análises de metais solúveis.

#### Balanço Iônico e Coeficientes de erro

Para o cálculo do balanço iônico e do coeficiente de erro das análises hidroquímicas da utilizou-se o método de Logan (1965). Segundo este autor o erro prático é calculado da seguinte forma:

Erro prático:  $E_p (\%) = I(r\Sigma n - r\Sigma p) / (r\Sigma p + r\Sigma n)I * 100$ , onde:

$r\Sigma n$ : concentração total de ânions em meq/L;

$r\Sigma p$ : concentração total de cátions em meq/L;

O erro teórico é o erro prático máximo permitido levando em consideração a somatória de ânions ou cátions de acordo com a relação apresentada a seguir:

$\Sigma n$ ou $\Sigma p$ (meq/L)	< 1,0	1,0	2,0	6,0	10,0	30,0	> 30,0
$E_p$ (%)	15	10	6	4	3	2	1

Os coeficientes de erro são altos para a primeira campanha de amostragem, possivelmente em função da demora na análise de alcalinidade. Nas campanhas seguintes as análises se procederam rapidamente após a chegada das amostras ao laboratório e o percentual de resultados considerados válidos para as duas últimas campanhas de amostragem são considerados satisfatórios.

## 5.4.2 Análise dos Resultados

### a) Nascentes

#### Parâmetros Físicos e Propriedades Iônicas

#### *Condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Temperatura (T)*

Os dados de condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e temperatura de amostras de nascentes são apresentados na tabela 11.

Tabela 11: Dados de temperatura (T), condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos (STD) em amostras de nascentes.

Parâmetro	Ponto VSM03			Ponto VSM11
	Novembro/2004	Fevereiro/2005	Julho/2005	Novembro/2004
T (°C)	26,8	26,8	26,7	22,2
C E (μS/cm)	333,8	344,4	335,0	97,5
STD (mg/L)	271,0	272,0	223,0	110,0

Analisando os dados obtidos para amostras do ponto VSM03 observa-se que os parâmetros físicos apresentam pouca variação (Figura 32) em relação aos diferentes períodos de amostragem. A pequena variação nos resultados está possivelmente relacionada à baixa velocidade de circulação das águas pluviométricas no sub-solo.

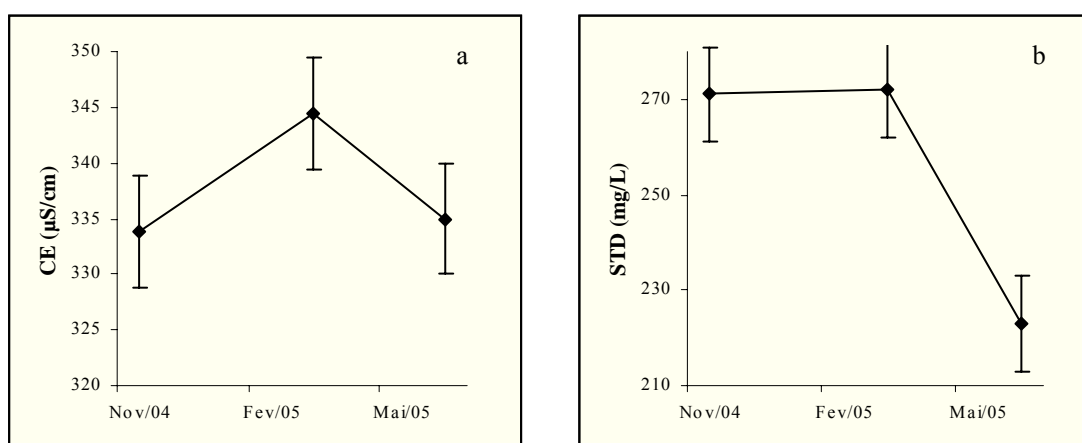


Figura 32: Variações de (a) condutividade elétrica (μS/cm) e (b) sólidos dissolvidos (mg/L) em amostra de nascente, ponto VSM03.

A figura 33 apresenta comparações entre condutividade elétrica e sólidos dissolvidos entre amostras de nascentes associadas aos xistos e granitos, coletadas em Novembro/2004. Os valores destes parâmetros são mais elevados em amostras do aquífero xistoso (VSM03). Este comportamento pode ser relacionado a uma maior interação água-rocha nos xistos, conseqüente da percolação da água por planos de xistosidade mais freqüentes e menos espaçados quando comparado aos granitos, nos quais a percolação ocorre por planos de fraturas menos freqüentes e sem conexão em profundidade (Menegasse *et al.*, 2003).

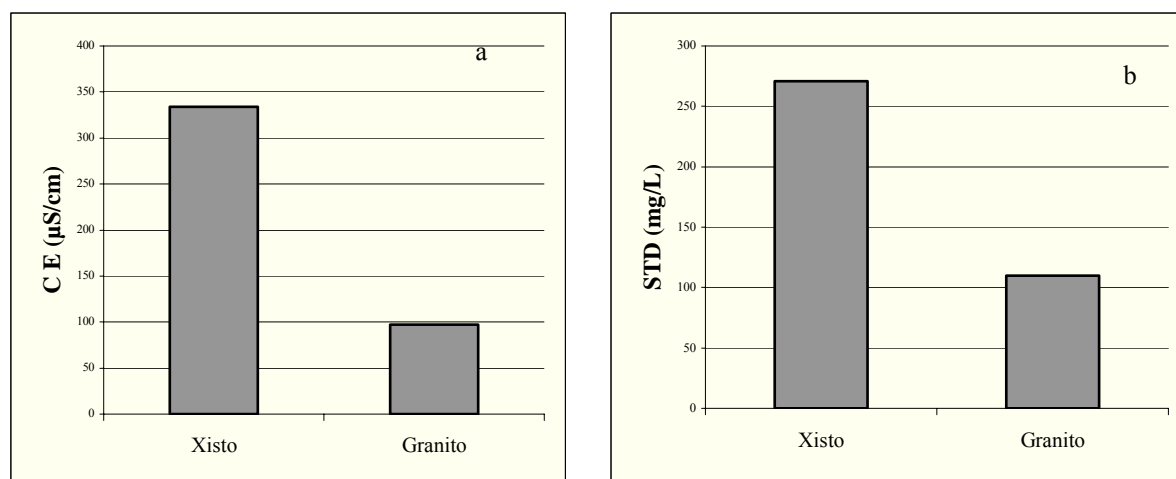


Figura 33: Comparações de (a) condutividade elétrica (CE) e (b) sólidos dissolvidos (STD) entre amostras de nascentes em aquíferos xistosos e em aquíferos graníticos, coleta realizada em Novembro/2004.

Os coeficientes de correlação entre condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e cátions principais são apresentados na tabela 12. Os resultados obtidos para o ponto VSM03 (aquífero xistoso) indicam o predomínio de Ca e Mg em relação aos demais íons. Já no ponto VSM11 (aquífero granítico) predominam Mg e Na. A variação de predomínio dos cátions principais é reflexo do conteúdo mineralógico/composicional entre os aquíferos xistoso e granítico.

Tabela 12: Coeficientes de correlação entre condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (STD) e os principais cátions, amostras de nascentes.

	VSM03						VSM11					
	CE	STD	Ca	Mg	Na	K	CE	STD	Ca	Mg	Na	K
CE	1,0	0,724	0,801	0,752	0,714	0,613	1,0	0,958	0,661	0,858	0,849	0,687
STD		1,0	0,652	0,522	0,512	0,415		1,0	0,429	0,709	0,672	0,478

*Potencial de Oxi-Redução (Eh) e pH*

No ponto VSM03 o potencial de oxi-redução varia de 130 mV no período seco a 227 mV no período chuvoso. Os valores mais elevados no período chuvoso indicam uma maior disponibilidade de oxigênio dissolvido nas águas. No ponto VSM11 o valor obtido foi de 216mV.

O pH apresenta valores em torno de 6,1 no ponto VSM11 e 6,8 no ponto VSM03.

*Cor e Turbidez*

No ponto VSM03 os valores mais elevados para os parâmetros cor e turbidez estão associados ao período chuvoso, sendo respectivamente 16,0 UPt e 1,34 NTU. Já no ponto VSM11 o valor para cor é de 6,0 UPt e turbidez 1,9 NTU.

*Dureza*

De acordo com a classificação proposta por Custódio & Llamas (1983), as amostras de nascentes variam de brandas a duras. As amostras do tipo brandas, cuja dureza total é inferior a 50mg/L estão associadas aos granitos. Já as amostras com dureza superior a 50mg/L de CaCO<sub>3</sub> estão associadas aos xistos.

*Parâmetros Químicos**Tipos de Água*

As amostras são predominantemente do tipo bicarbonatadas (Figura 34), tanto para nascentes localizadas em terrenos xistosos quanto para terrenos graníticos. Com relação a cátions, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> predominam no aquífero xistoso e Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> no aquífero granítico.

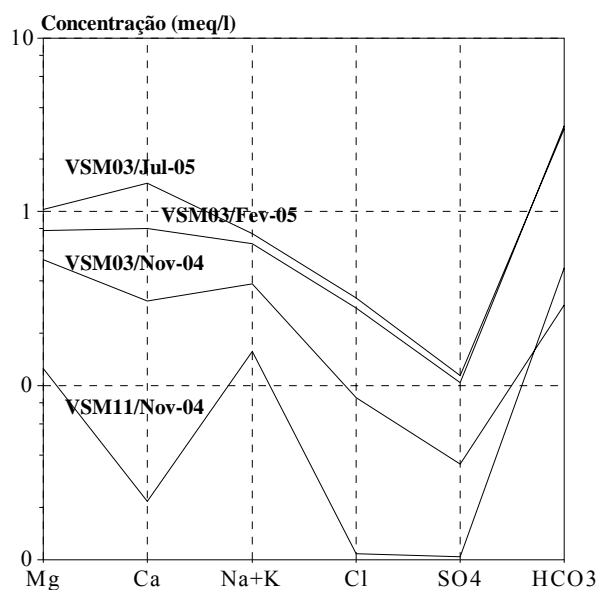


Figura 34: Diagrama Scholler para amostras de nascentes.

### *Cátions*

Os dados referentes ao ponto VSM03 indicam concentrações mais elevadas dos cátions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  no período seco (Figura 35).

Nas amostras de nascentes do aquífero xistoso as concentrações mais elevadas de cálcio em relação aos demais cátions, assim como os valores de dureza relativamente elevados podem refletir o intemperismo de rochas calcissilicáticas, frequentemente intercaladas nos xistos. As concentrações mais elevadas de magnésio e sódio nos granitos indicam a presença de feldspatos e biotita nestas rochas.

As concentrações máximas de alumínio e ferro são, respectivamente, 0,23 mg/L e 0,09 mg/L em amostra do ponto VSM03 referente ao período chuvoso.

Já a amostra do ponto VSM11 apresenta concentrações em alumínio e ferro inferiores a 0,05 mg/L e 0,01mg/L, respectivamente. Os resultados obtidos para o ponto VSM03 demonstram que ferro e alumínio são incorporados ao sistema aquoso em períodos de maior lixiviação.

As concentrações dos elementos traços (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel, titânio e zinco) são, em geral, inferiores ao limite de detecção do método analítico, não sendo verificados valores anômalos. As concentrações da maioria destes íons foram quantificadas apenas na primeira campanha de amostragem devido à utilização do ICP-MS. Nesta ocasião, os traços com maiores concentrações foram zinco (100  $\mu\text{g/L}$ ) e bário (60,0  $\mu\text{g/L}$ ).

### *Ânions*

A figura 36 mostra variações nas concentrações de bicarbonato, cloro e sulfato em função dos diferentes períodos de amostragem em amostras do ponto VSM03.

A ordem de concentração destes ânions é  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ , tanto para as amostras de nascentes associadas aos xistos quanto para as amostras associadas aos granitos.

As concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) em amostras do ponto VSM03 variam de 17,7 a 190,2 mg/L e o valor obtido para o ponto VSM11 foi de 28,9 mg/L. As concentrações de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) para todas as amostras são inferiores a 1,0mg/L.

O valor mais elevado para os fluoretos é de 0,27mg/L em amostra do ponto VSM03 enquanto que no ponto VSM11 a concentração é inferior ao limite de detecção do método analítico (< 0,25 mg/L). O fosfato apresenta concentrações em torno de 0,1 mg/L.



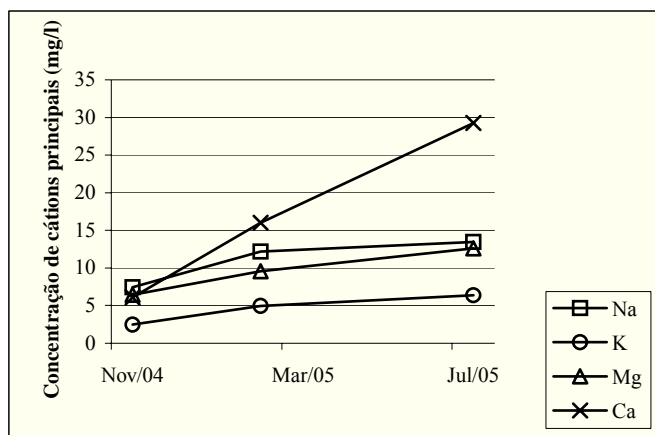


Figura 35: Variações nas concentrações de cátions principais (mg/L) em amostras onde o xisto é a litologia dominante, ponto VSM03.

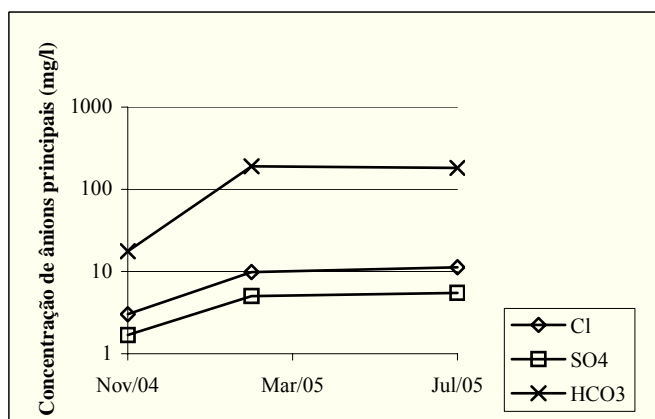


Figura 36: Variações nas concentrações de ânions principais (mg/L) em amostras de nascente onde o xisto é a litologia dominante, ponto VSM03.

### Série Nitrogênio

As concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal apresentam valores em torno de 0,2 mg/L tanto para aquíferos xistosos (VSM03) quanto graníticos (VSM11), enquanto que o nitrito apresenta concentração em torno de 0,002 mg/L.

A maior concentração de nitrato nas nascentes foi de 3,5mg/L para amostra do ponto VSM03 referente ao período chuvoso. Segundo Santos (1997) o nitrato pode ser removido das camadas superficiais do solo para a água, em função da maior mobilidade em relação aos demais elementos da série nitrogênio. De fato, as maiores concentrações de nitrato estão associadas ao período chuvoso onde os processos de lixiviação são mais intensos.

### OD, DBO e DQO

O teor de oxigênio dissolvido é de 6,8mg/L. A demanda bioquímica de oxigênio é inferior a 2,0mg/L e a demanda química de oxigênio apresenta faixa de variação de 5,0 a 7,0 mg/L.



Parâmetros Microbiológicos

Os valores de coliformes termotolerantes variam de 30 a 300 (em 100ml) e totais de 2 a 500 (em 100ml). Estreptococos fecais variam de 30 a 300 (em 100ml). Os resultados obtidos para estes parâmetros (Figura 37) refletem a fragilidade destes mananciais a fontes de poluição.

Nas amostras de nascentes as relações CT/EF <1 (Von Sperling, 1996) indicam que a contaminação é predominantemente por fezes animais. As atividades agropecuárias desenvolvidas nas proximidades das nascentes possivelmente contribuíram para as elevadas concentrações dos parâmetros microbiológicos.

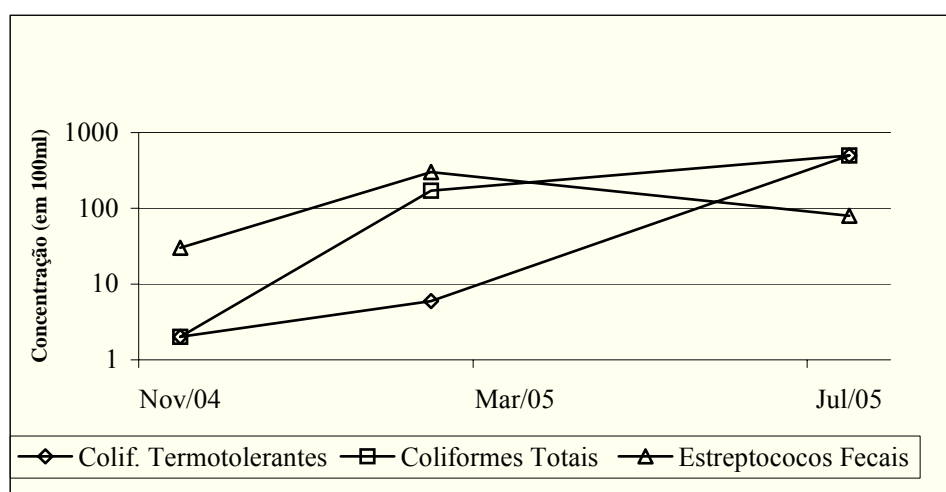


Figura 37: Concentrações dos parâmetros microbiológicos em amostras da nascente VSM03.

**b) Águas Superficiais**Parâmetros Físicos e Propriedades Iônicas*Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Temperatura da Água*

As variações de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos em relação aos diferentes períodos de amostragem podem ser visualizadas nas figuras 38 e 39, respectivamente.

A condutividade elétrica (Tabela 13) apresenta valor médio de 50,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no Córrego Água Santa e 44,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no Córrego Palmeiras, enquanto que sólidos dissolvidos apresenta valor médio de 44,2 mg/L no Córrego Água Santa e 43,1 mg/L no Córrego Palmeiras.

A temperatura da água apresenta faixa de variação de 16°C (média de inverno) a 29°C (média de verão).

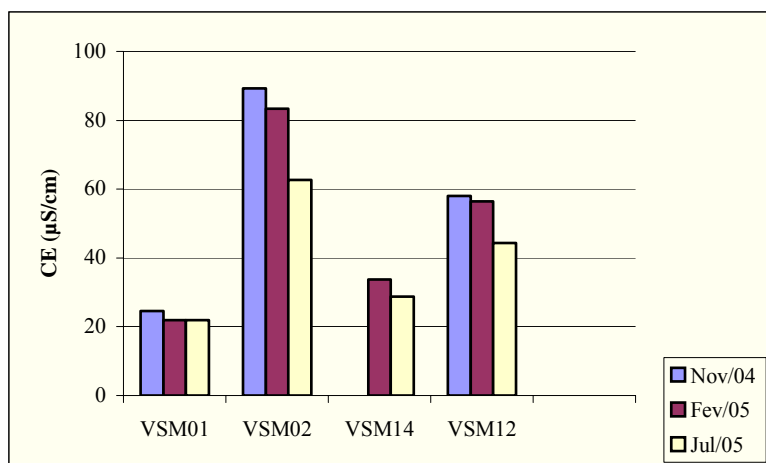


Figura 38: Variações de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em amostras de águas superficiais.

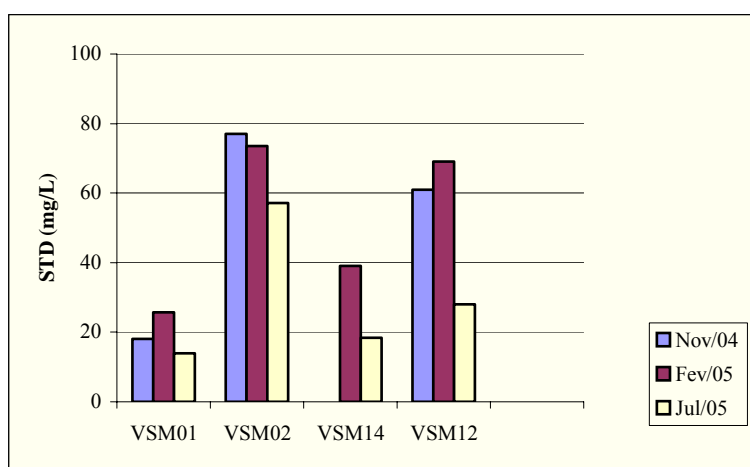


Figura 39: Variações de sólidos dissolvidos ( $\text{mg}/\text{L}$ ) em amostras de águas superficiais.

Tabela 13: Valores máximos e mínimos para condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e sólidos dissolvidos ( $\text{mg}/\text{L}$ ) em águas superficiais.

	Córrego Água Santa		Córrego Palmeiras	
	C E ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD ( $\text{mg}/\text{L}$ )	C E ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD ( $\text{mg}/\text{L}$ )
Mínimo	21,9	14,0	28,0	18,4
Máximo	89,3	77,0	58,0	69,0

Os coeficientes de correlação entre parâmetros físicos e cátions são apresentados na tabela 14. O alto coeficiente de correlação entre condutividade elétrica e sólidos dissolvidos (0,88) demonstra a interação entre estes parâmetros. Entre os cátions, magnésio apresenta maior correlação com condutividade elétrica e potássio apresenta maior correlação com sólidos dissolvidos. Entre os ânions o maior coeficiente de correlação foi com o bicarbonato.

Tabela 14: Coeficientes de correlação entre condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (STD) e os principais cátions em amostras de águas superficiais.

	Córrego Água Santa						Córrego Palmeiras					
	CE	STD	Ca	Mg	Na	K	CE	STD	Ca	Mg	Na	K
CE	1,0	0,914	0,428	0,736	0,716	0,715	1,0	0,880	0,448	0,782	0,729	0,724
STD			0,574	0,558	0,550	0,840		1,0	0,195	0,626	0,562	0,739

A análise da condutividade elétrica e dos sólidos dissolvidos ao longo dos cursos d'água mostra que suas concentrações tendem a aumentar no sentido da cabeceira para foz. Este comportamento é comum aos córregos Água Santa e Palmeiras. Os pontos de amostragem VSM02 (Córrego Água Santa) e VSM12 (Córrego Palmeiras) localizados a jusante de áreas de mineração e de vilas garimpeiras detêm os maiores valores para condutividade elétrica e sólidos dissolvidos. Este fato pode estar refletindo a influência das atividades antrópicas, como a disposição de pilhas de rejeitos nas margens dos córregos, as quais são caracterizadas por blocos de feldspato potássico; maior exposição dos solos à lixiviação devido à retirada de mata ciliar e ao lançamento de efluentes domésticos nestes locais.

*Potencial de Oxi-Redução (Eh) e pH*

O potencial de oxi-redução (Figura 40) apresenta, em geral, valores mais altos no período chuvoso.

O pH (Figura 41) é levemente ácido no período chuvoso, com valores em torno de 6,5 no Córrego Água Santa e 6,8 no Córrego Palmeiras. Já no período seco variou de neutro (Córrego Água Santa) a levemente alcalino (Córrego Palmeiras).

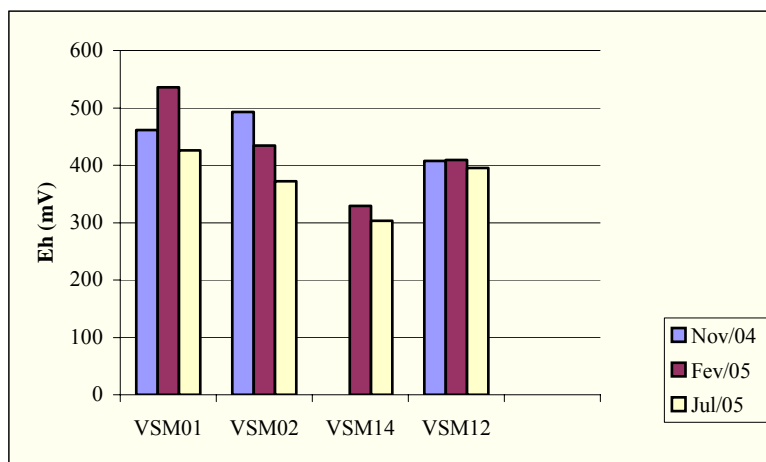


Figura 40: Variações de Eh (mV) em amostras de águas superficiais.

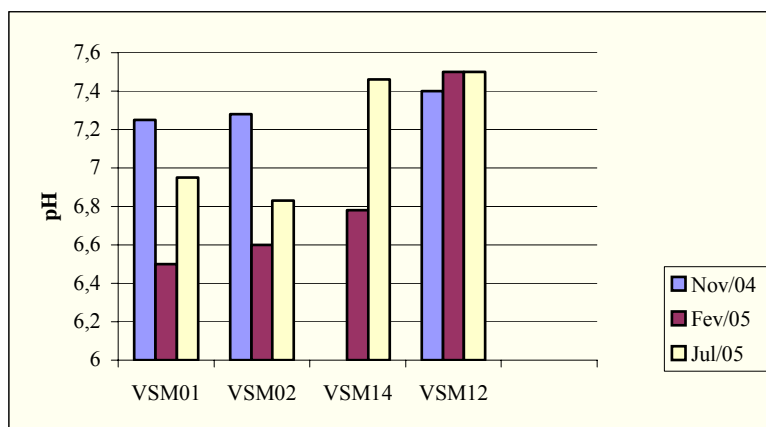
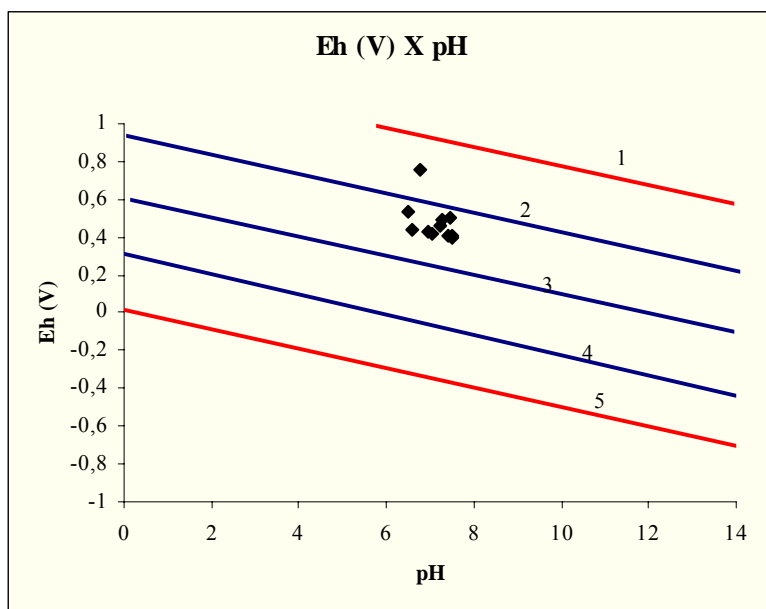


Figura 41: Variações de pH em amostras de águas superficiais.

As relações entre o potencial de oxidação-redução e o pH permitem inferências sobre o ambiente das amostras de água de acordo com a posição no diagrama Eh X pH (Garrels & Christ, 1965). Assim, o ambiente típico para amostras de água superficial é o em contato com a atmosfera. Apesar do significativo conteúdo em matéria orgânica transportado por estes córregos, fato que levaria a uma maior demanda na produção de ácidos para decompor a carga orgânica e a uma diminuição na disponibilidade de oxigênio dissolvido, tornando o ambiente mais redutor (Drever, 1997; Von Sperling, 1996), de acordo com o diagrama Eh X pH as amostras dos córregos Água Santa e Palmeiras estão no campo do ambiente típico para águas superficiais – o ambiente em contato com a atmosfera (Figura 42).



- Legenda
- 1 – Limite superior de estabilidade da água;
  - 2 – Ambiente em contato com a atmosfera;
  - 3 – Ambiente transicional;
  - 4 – Ambiente isolado da atmosfera
  - 5 – Limite inferior de estabilidade da água.

Figura 42: Diagrama Eh (V) X pH para as águas dos córregos Água Santa e Palmeiras.

*Cor e Turbidez*

A cor (Figura 43) apresenta valores de 22,0 a 3070,0 UPt e turbidez oscila de 2,0 a 750,0 NTU. Estes parâmetros apresentam maiores valores na estação chuvosa, em função da lixiviação de partículas dos solos.

Os pontos de amostragem do Córrego Água Santa (VSM01 e 02) apresentam maiores valores de cor e turbidez em relação aos pontos do Córrego Palmeiras (VSM14 e 12), o que indica uma maior exposição dos solos à lixiviação na primeira bacia, relativamente à segunda.

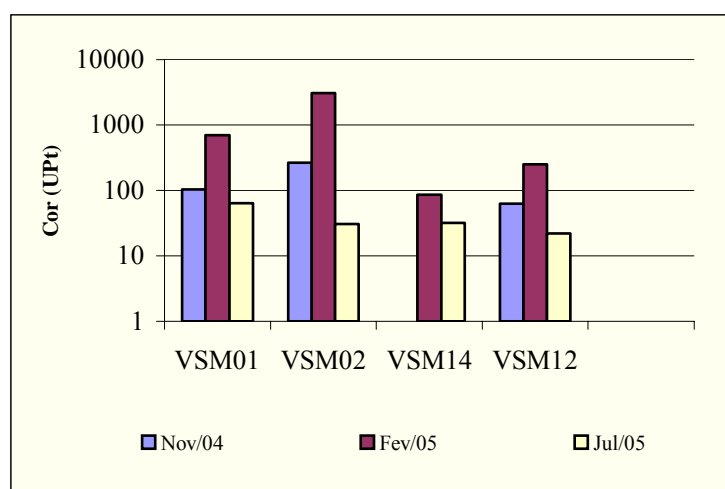


Figura 43: Variações nos valores de cor (Upt) para amostras de água superficial nos diferentes períodos de amostragem.

*Parâmetros Químicos**Tipos de Água*

As águas dos córregos Água Santa e Palmeiras são predominantemente do tipo bicarbonatadas, sendo observada a seguinte ordem de ocorrência entre os ânions independente do período de amostragem  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  (Figura 44). Com relação aos cátions, predomina a seguinte ordem de ocorrência no Córrego Água Santa  $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ , já no Córrego Palmeiras  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ .

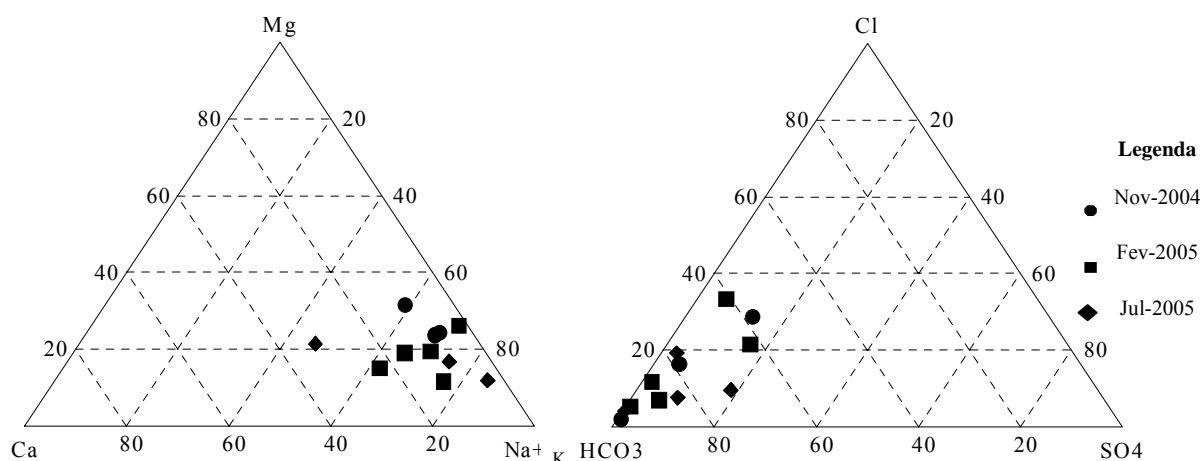


Figura 44: Diagrama ternário (meq/L) para amostras de águas superficiais, com representação de cátions e ânions principais.

### Cátions

Os valores máximos, mínimos e médios dos cátions principais ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ) são apresentados na tabela 15.

Em relação a variações sazonais, as concentrações dos cátions principais são, em geral, maiores no período chuvoso. Entretanto, o ponto VSM02 é uma exceção já que as concentrações dos cátions principais são mais elevadas no período seco.

Assim como observado para condutividade elétrica e sólidos dissolvidos, as concentrações dos cátions principais (Figura 45) tendem a aumentar em direção a jusante, ao longo dos córregos Água Santa (VSM02) e Palmeiras (VSM12). Este comportamento estaria associado a uma maior intensidade na lixiviação dos solos nas áreas a jusante das cabeceiras em função da ausência de cobertura vegetal, aumentando a carga de partículas para os córregos.

Ao interagir com as águas superficiais as partículas podem liberar íons para o sistema aquoso. Entre estas partículas, o silte pode ter considerável capacidade de transportar compostos químicos a ele adsorvidos e de realizar troca iônica com o ambiente aquático (Payne, 1986).

Tabela 15: Valores máximos, mínimos e médios (em mg/L) dos cátions principais em águas superficiais.

	Córrego Água Santa				Córrego Palmeiras			
	Na	K	Mg	Ca	Na	K	Mg	Ca
Mínimo	1,0	0,47	0,62	0,17	1,8	1,3	0,5	0,14
Máximo	6,4	3,5	4,4	6,6	3,8	2,7	1,9	1,6
Média	2,9	1,9	2,0	1,6	2,6	1,9	1,2	0,7
Desvio Padrão	1,9	1,2	1,5	2,5	0,8	0,5	0,4	0,6

As concentrações de alumínio e ferro atingem valores máximos no período chuvoso, sendo respectivamente 0,49 e 0,79 mg/L, no Córrego Água Santa e 0,24 e 1,29 mg/L, no Córrego Palmeiras, refletindo maior intensidade na lixiviação de solos neste período.

As concentrações mais elevadas de traços são as de bário e zinco sendo, respectivamente, 46,0 µg/L e 0,16 mg/L no Córrego Água Santa e 55,0 µg/L e 0,06 mg/L no Córrego Palmeiras.

### Ânions

Na tabela 16 estão valores máximos, mínimos e médios dos ânions principais.

A concentração média de bicarbonato (Figura 46a) é de 15,8 mg/L no Córrego Água Santa e 18,6 mg/L no Córrego Palmeiras.

O cloreto (Figura 46b) apresenta concentração máxima no período chuvoso, com valores em torno de 2,2 mg/L no Córrego Água Santa e 1,5 mg/L no Córrego Palmeiras. Os valores mais elevados de cloreto no período chuvoso indicam fontes meteóricas para este elemento.

No Córrego Água Santa o sulfato apresenta concentração máxima de 1,8 mg/L em amostra coletada no período chuvoso, já no Córrego Palmeiras a concentração máxima de 2,1 mg/L se refere à amostra do período seco.

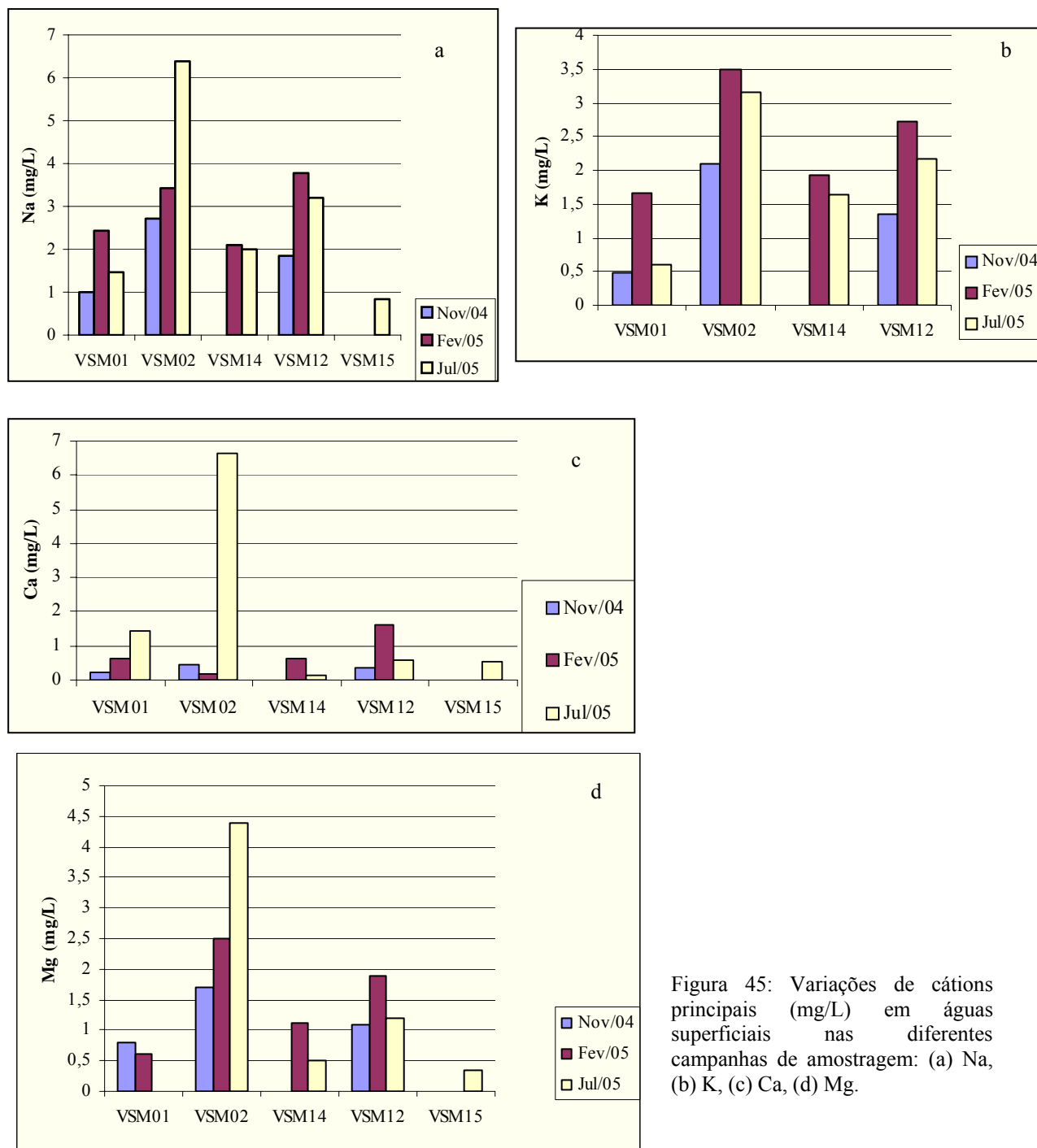


Figura 45: Variações de cátions principais (mg/L) em águas superficiais nas diferentes campanhas de amostragem: (a) Na, (b) K, (c) Ca, (d) Mg.

Tabela 16: Valores máximos, mínimos e médios (em mg/L) dos ânions principais em águas superficiais.

	Córrego Água Santa			Córrego Palmeiras		
	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
Mínimo	1,1	0,54	0,25	8,2	0,55	0,25
Máximo	49,0	2,24	1,8	29,8	1,6	2,1
Média	15,8	1,53	0,74	18,6	1,2	0,95
Desvio Padrão	19,0	0,70	0,76	9,3	0,43	0,96



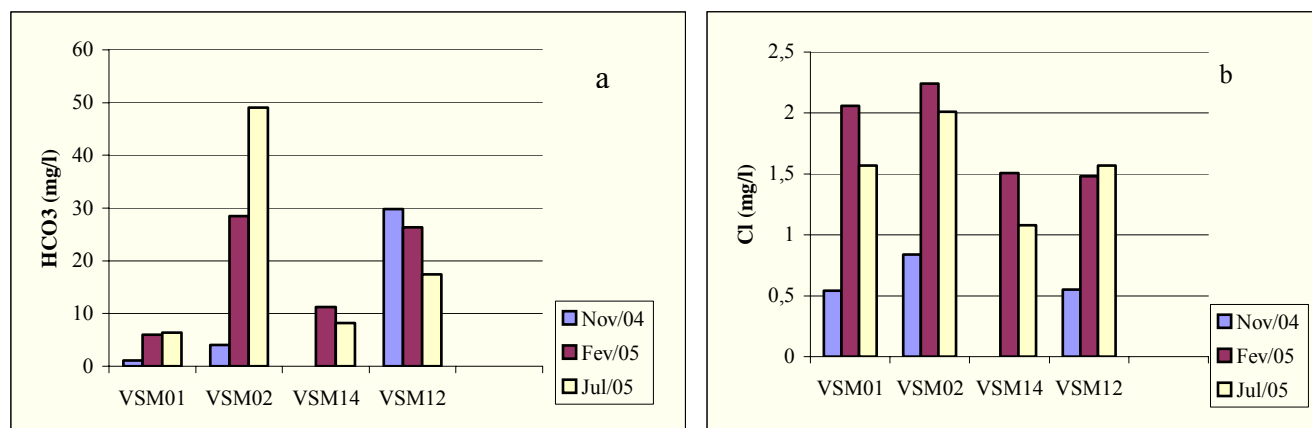


Figura 46: Concentrações de ânions em águas superficiais: (a) bicarbonato (mg/L) ; (b) cloreto (mg/L).

As concentrações de bicarbonato e cloreto tendem a aumentar em direção a jusante ao longo dos cursos d'água, assim como o observado para os cátions principais, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos.

Com relação aos demais ânions, os fluoretos apresentam concentrações inferiores a 0,25mg/L tanto para amostras do Córrego Água Santa quanto do Palmeiras. As concentrações de fosfato são mais elevadas no período chuvoso. No Córrego Água Santa, o fosfato varia de 0,08 mg/L (VSM01) a 0,16mg/L (VSM02). No Córrego Palmeiras, as concentrações de fosfatos variam de 0,02 a 0,04 mg/L. As concentrações mais elevadas deste elemento referem-se às amostras coletadas a jusante de vilas garimpeiras.

#### *Serie Nitrogênio*

Os parâmetros nitrogênio orgânico e amoniacal apresentam concentrações semelhantes, variáveis de 0,1 a 0,7 mg/L. O nitrito apresenta concentração em torno de 0,004 mg/L. As concentrações destes parâmetros apresentam pouca variação em relação às diferentes campanhas de amostragem.

No Córrego Água Santa, o nitrato apresenta concentrações mais expressivas no período chuvoso variando de 1,37 a 1,68 mg/L, sendo o maior valor associado ao ponto de amostragem localizado a jusante de vilas garimpeiras (VSM02). Já no Córrego Palmeiras as concentrações de nitrato são, em geral, inferiores a 0,01mg/L sendo observado o valor máximo de 0,02 mg/L.

### *OD, DBO e DQO*

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) variam de 5,0 a 7,2mg/L, tendendo a diminuir no sentido da cabeceira para a foz dos cursos d'água. O ponto de amostragem localizado na cabeceira do Córrego Água Santa (VSM01) apresenta concentração em torno 6,8 mg/L reduzindo para 5,0 mg/L no ponto a jusante de vilas garimpeiras (VSM02).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) apresenta, em geral, concentrações inferiores a 2,0 mg/L, sendo que apenas uma amostra do Córrego Água Santa (VSM02) coletada no período chuvoso apresenta concentração de 3,0 mg/L.

A demanda química de oxigênio apresenta concentração mais elevada no período chuvoso. No Córrego Água Santa, as concentrações estão em torno de 28,0mg/L e no Córrego Palmeiras 15,0mg/L.

### *Parâmetros Microbiológicos*

As águas superficiais apresentam valores elevados com relação aos parâmetros microbiológicos, sendo que na maioria das amostras coliformes totais (Figura 47) e estreptococos fecais (Figura 48) estão acima de 100 (em 100ml).

No Córrego Água os parâmetros microbiológicos são mais expressivos em amostras coletadas no período chuvoso. Neste córrego, os valores de coliformes termotolerantes (Figura 49) atingiram 24000 (em 100ml), enquanto que estreptococos fecais chegaram a 8000 (em 100ml).

Já no Córrego Palmeiras as amostras coletadas no período seco apresentam os valores mais elevados para coliformes termotolerantes, coliformes totais e estreptococos fecais.

Os valores elevados para os parâmetros microbiológicos nas águas superficiais são acompanhados pelo aumento nas concentrações de fosfato, nitrato e demanda química de oxigênio em pontos localizados nas proximidades e a jusante de vilas garimpeiras (VSM02, 14 e 12). Estes resultados demonstram a ausência de infraestrutura de saneamento básico na região.

As relações entre coliformes termotolerantes (CT) e estreptococos fecais (EF) obtidas para as amostras de águas superficiais ( $CT/EF < 1$  e  $CT/EF > 4$ ) indicam que as prováveis origens da contaminação são tanto por esgotos domésticos quanto por fezes de animais (Von Sperling, 1996).

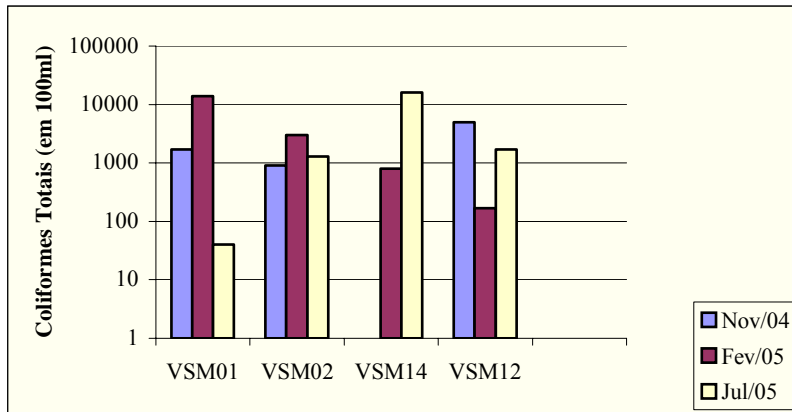


Figura 47: Concentração de coliformes totais nas águas superficiais.

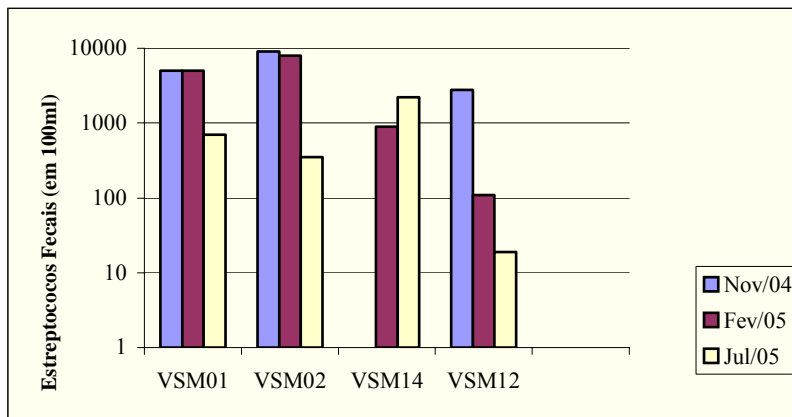


Figura 48: Concentração de estreptococos fecais nas águas superficiais.

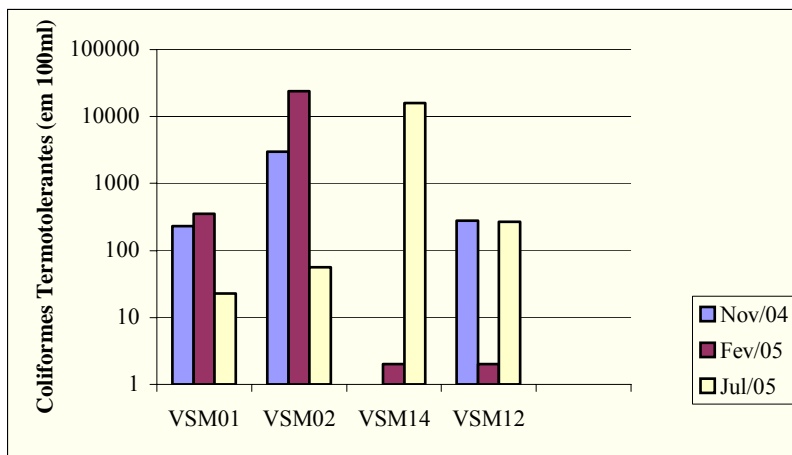


Figura 49: Concentração de coliformes termotolerantes nas águas superficiais.

### c) Águas Subterrâneas

Os dados que serão analisados neste item referem-se a amostras de poços tubulares (VSM04 e VSM06) e a amostras ocorrentes em lavras pegmatíticas (VSM05, 07, 08, 09, 10, 12 e 15), objeto de maior interesse deste estudo. O ponto VSM04 representa o aquífero xistoso, enquanto que os pontos VSM06, 05, 07, 08, 09, 10, 12 e 15 representam o aquífero granítico.

#### Parâmetros Físicos

##### *Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Temperatura da Água*

A condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos para os diferentes pontos e períodos de amostragem podem ser visualizados nas figuras 50 e 51, respectivamente.

Em amostras de lavras pegmatíticas localizadas na Bacia do Córrego Palmeiras (VSM07, 08, 09, 10, 13 e 15), a condutividade elétrica varia de 18,8 a 117,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  enquanto que a faixa de variação dos sólidos dissolvidos é de 12,0 a 134,0  $\text{mg}/\text{L}$  (Tabela 17). Já em amostras do ponto VSM05, localizado na Bacia do Córrego Água Santa, a condutividade elétrica atingiu 1268,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  enquanto que sólidos dissolvidos 1314,0  $\text{mg}/\text{L}$ .

Em amostras de poços tubulares os valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos estão, respectivamente, em torno de 722,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 480,0  $\text{mg}/\text{L}$  para o ponto VSM04 (aquífero xistoso) e 475,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 350,0  $\text{mg}/\text{L}$  para o ponto VSM06 (aquífero granítico).

A temperatura oscila na faixa de 22°C (inverno) a 30°C (verão).

Os valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos apresentam variação mínima em relação aos diferentes períodos de amostragem, sendo que em alguns pontos (VSM06) a variação é inexistente. Este fato pode estar associado aos baixos índices pluviométricos da região e à baixa velocidade de infiltração de águas de chuva no sub-solo.

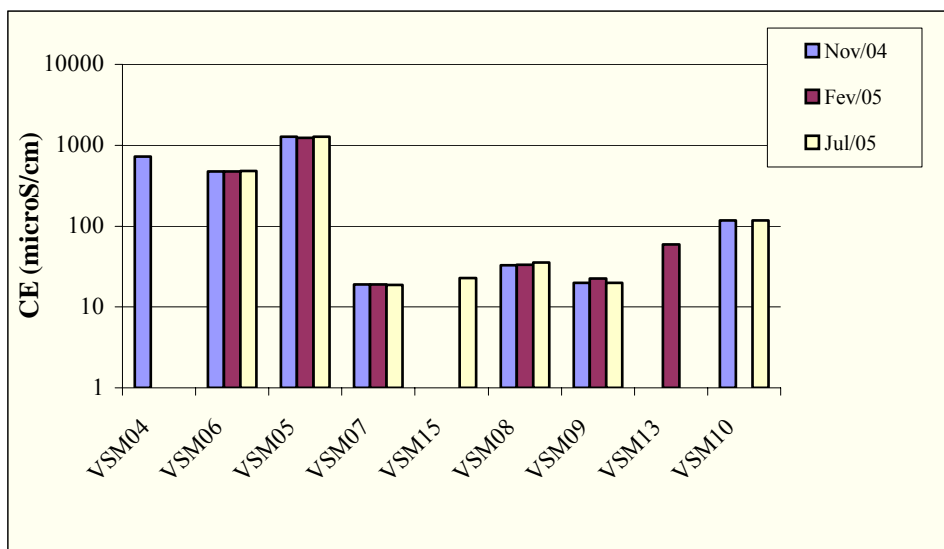


Figura 50: Condutividade elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) em amostras de águas subterrâneas.

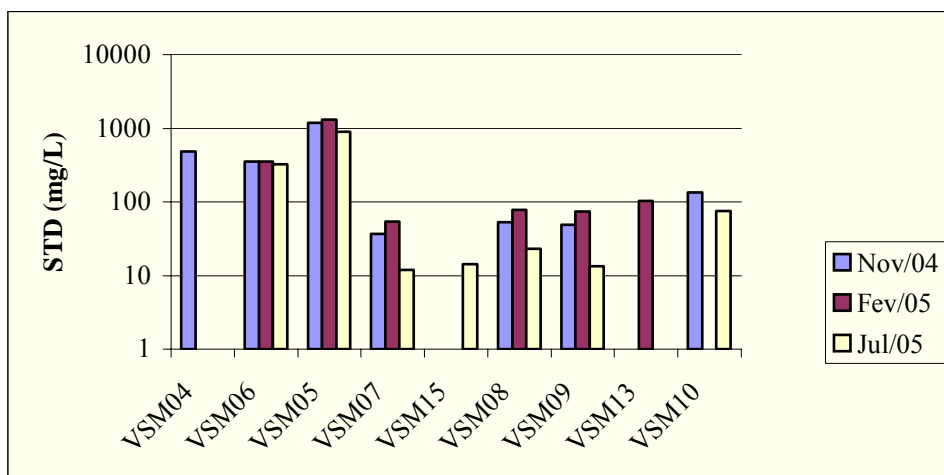


Figura 51: Sólidos dissolvidos (mg/L) em amostras de águas subterrâneas.

Tabela 17: Valores máximos, mínimos e médios para condutividade elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) e sólidos dissolvidos (mg/L) em amostras de lavras pegmatíticas, Bacia do Córrego Palmeiras.

	C E ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (mg/L)
Mínimo	18,8	12,0
Máximo	117,0	134,0
Média	41,3	55,4
Desvio Padrão	35,5	37,1

A concentração média de sólidos dissolvidos (55,4mg/L) obtida para amostras de lavras pegmatíticas localizadas no Córrego Palmeiras indica um menor tempo de residência destas águas e, conseqüentemente, menor tendência à salinização comparativamente às amostras do poço tubular VSM06 (350 mg/L). Este resultado é possivelmente influenciado pela menor profundidade das águas ocorrentes nas lavras em relação às águas do poço VSM06.

Os coeficientes de correlação entre condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e cátions principais ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) para amostras do aquífero granítico são apresentados na tabela 18.

Nas águas do aquífero granítico, a condutividade elétrica apresenta maior coeficiente de correlação com magnésio, seguido por sódio, potássio e cálcio. Já com relação aos sólidos dissolvidos (Figura 52) o maior índice de correlação é com magnésio, seguido por potássio, sódio e cálcio. Os coeficientes de correlação obtidos entre sólidos dissolvidos e os íons  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  ratificam predomínio destes cátions em relação aos demais. A presença de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  no aquífero granítico reflete a composição dos pegmatitos, nos quais mica e feldspato potássico representam constituintes essenciais da rocha.

Tabela 18: Coeficientes de correlação entre condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (STD) e os principais cátions em amostras do aquífero granítico.

	<b>CE</b>	<b>STD</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>
<b>CE</b>	1,0	0,973	0,906	0,896	0,863	0,855
<b>STD</b>		1,0	0,884	0,841	0,858	0,760

De acordo com análises de correlação, o bicarbonato (Tabela 19) apresenta maior índice tanto com condutividade elétrica quanto com sólidos dissolvidos, seguido pelo cloreto e sulfato.

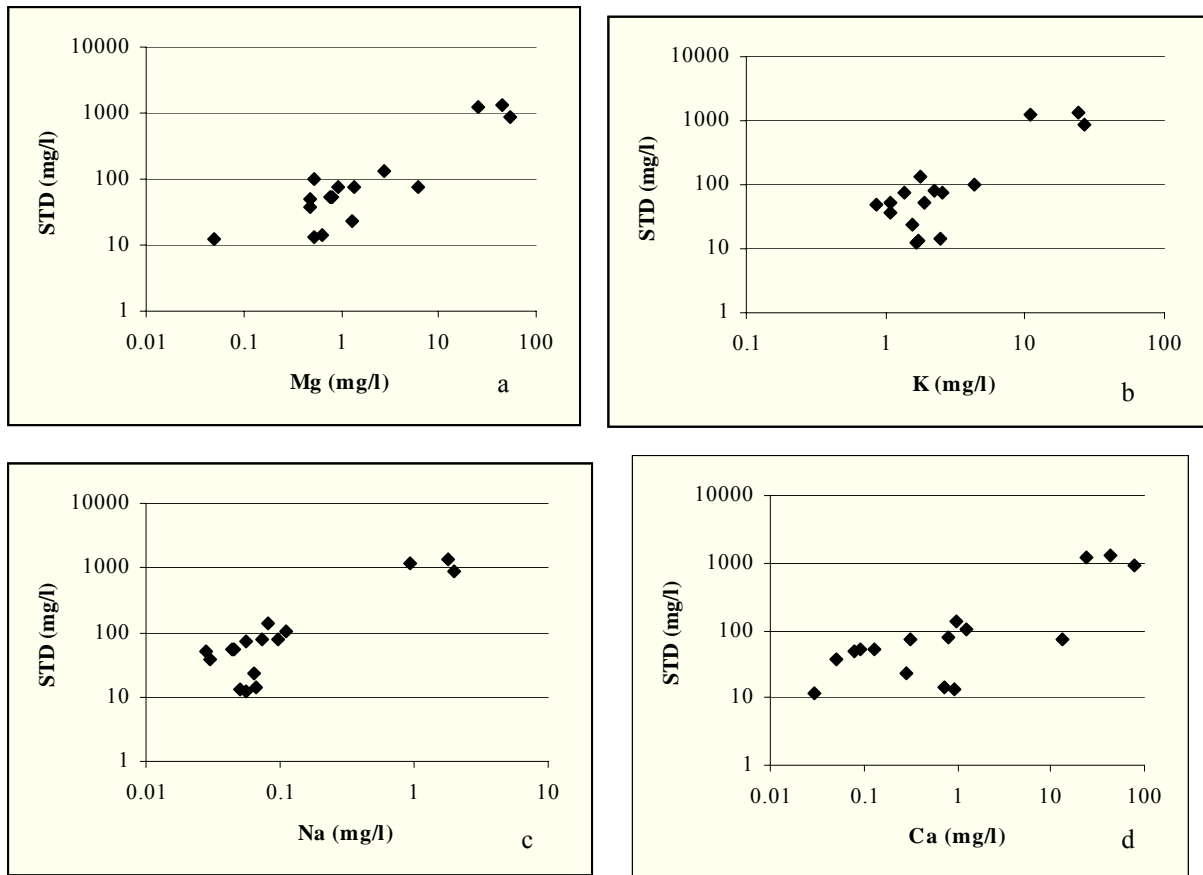


Figura 52: Correlação entre sólidos dissolvidos (STD) e cátions principais em amostras do aquífero granítico: (a) Mg, (b) K, (c) Na, (d) Ca.

Tabela 19: Coeficientes de correlação entre condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (STD) e os principais ânions em amostras do aquífero granítico.

	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
CE	0,845	0,802	0,653
STD	0,774	0,714	0,616

#### Potencial de Oxi-Redução (Eh) e pH

As variações de Eh e pH para os diferentes pontos de amostragem podem ser visualizadas nas figuras 53 e 54.

O pH varia de levemente ácido (6,1) no período chuvoso a levemente alcalino no período seco (7,4).

De acordo com o diagrama Eh X pH (Garrels & Christ, 1965), as amostras da área de estudo estão no campo do ambiente em contato com a atmosfera (Figura 55), embora o ambiente típico do sistema hídrico subterrâneo seja o transicional. Este fato pode ser explicado pela pouca profundidade com que ocorrem estas águas subterrâneas, já que os valores máximos estão em torno de 15,0 m em relação à cota do terreno. Por se tratar de amostras de água subterrânea pouco profundas, os valores de Eh (mV) e pH refletem um ambiente típico de contato com a atmosfera.

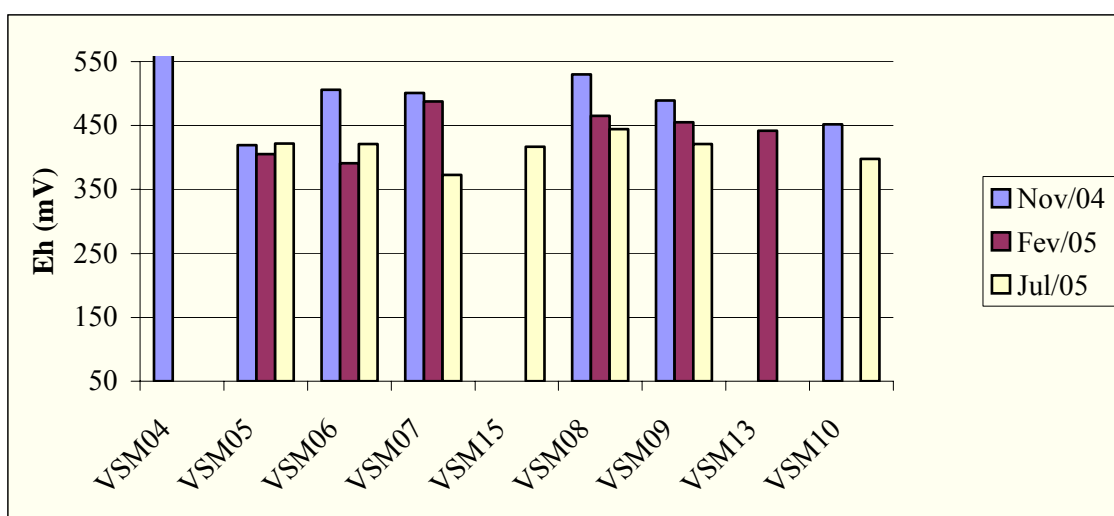


Figura 53: Variações de potencial de oxi-redução (mV) em amostras de águas subterrâneas.

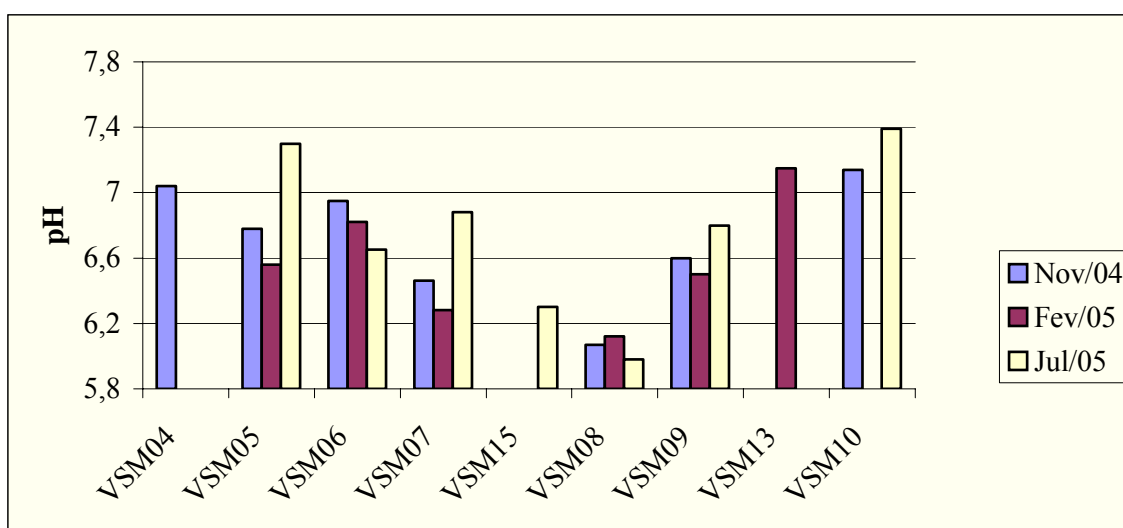
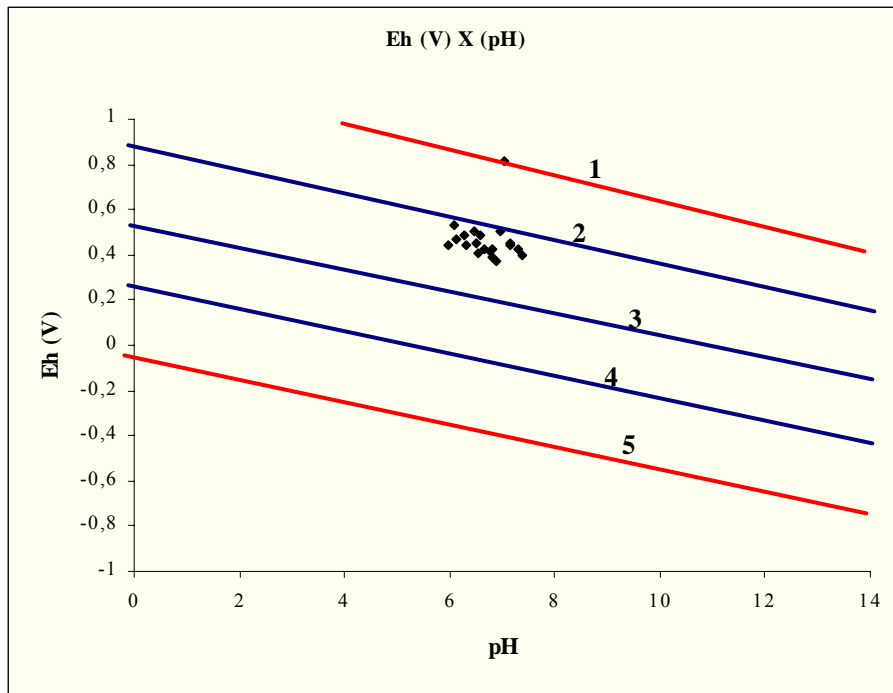


Figura 54: Variações de pH em amostras de águas subterrâneas.





*Cor e Turbidez*

Os valores de cor variam de 5,0 a 27,0 UPt. O ponto VSM05 representa uma exceção, pois os valores oscilam de 14UPt a 33UPt. Os valores mínimos estão associados ao período seco enquanto os máximos estão associados ao período chuvoso.

A turbidez (Figura 56) apresenta valor máximo de 29,0 NTU. Os valores mais elevados estão associados ao período chuvoso e a amostras de água coletadas em lavras que estavam em atividade.

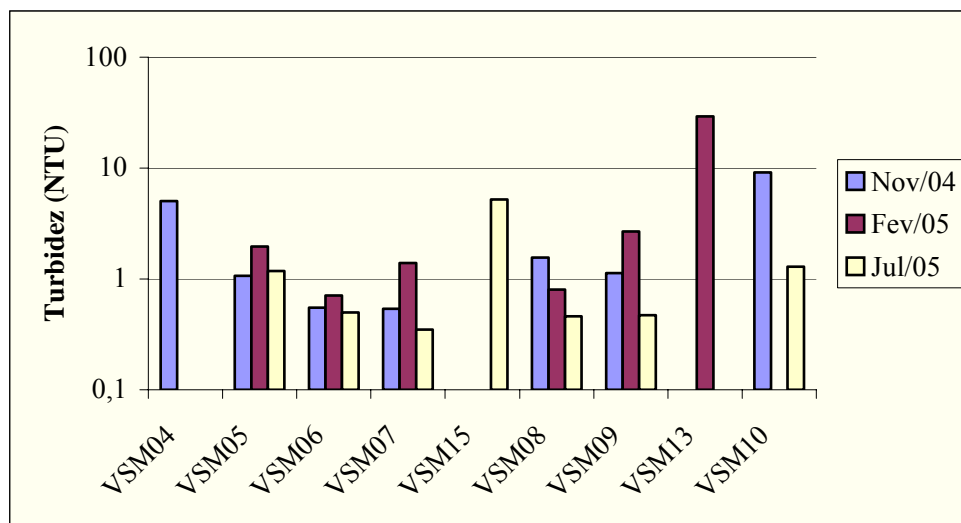


Figura 56: Variações de turbidez (NTU) em amostras de águas subterrâneas.

*Dureza*

Na área de estudo, as águas ocorrentes na Bacia do Córrego Palmeiras em lavras pegmatíticas e no poço tubular VSM06 (aquífero granítico) apresentam valores de dureza inferiores a 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, sendo brandas a pouco duras (Custódio & Llamas, 1983). Águas duras a muito duras (dureza total >100mg/L de CaCO<sub>3</sub>) ocorrem em amostras de pontos de monitoramento localizados na Bacia do Córrego Água Santa.

Parâmetros Químicos

*Tipos de Água*

No aquífero granítico cerca de 40% das amostras de águas são bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Independente do período de amostragem, entre os cátions predominam águas mistas, enquanto que entre os ânions predominam bicarbonatadas a mistas. Já no aquífero xistoso a amostra é do tipo cloretada e apresenta como cátions predominantes Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>.

As amostras de águas subterrâneas estão representadas na figura 57.

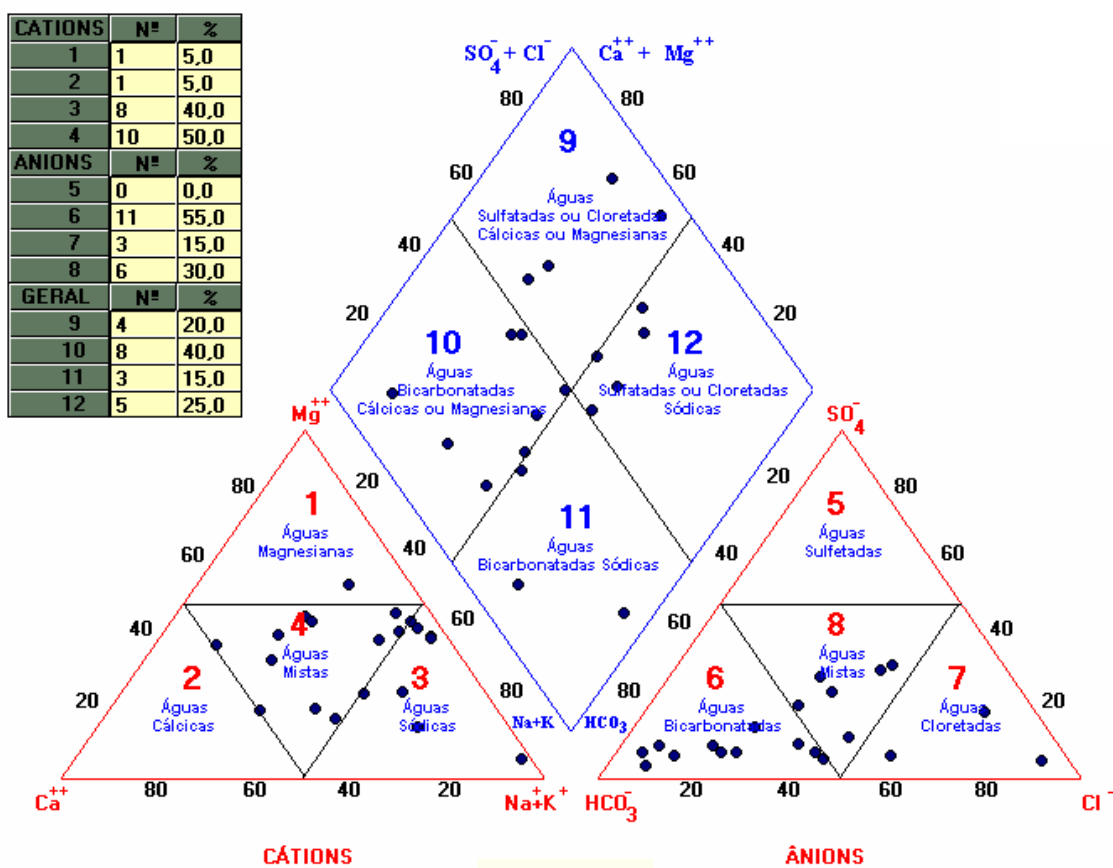


Figura 57: Diagrama de Piper (meq/L) para amostras do aquífero granítico na área de estudo.

*Cátions*

O comportamento dos cátions principais ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ) em relação aos diferentes períodos e pontos de amostragem pode ser visualizado nas figuras 58a a 58d.

Assim como verificado para condutividade elétrica e sólidos dissolvidos, as concentrações dos cátions principais apresentam pequena variação em relação aos diferentes períodos de amostragem.

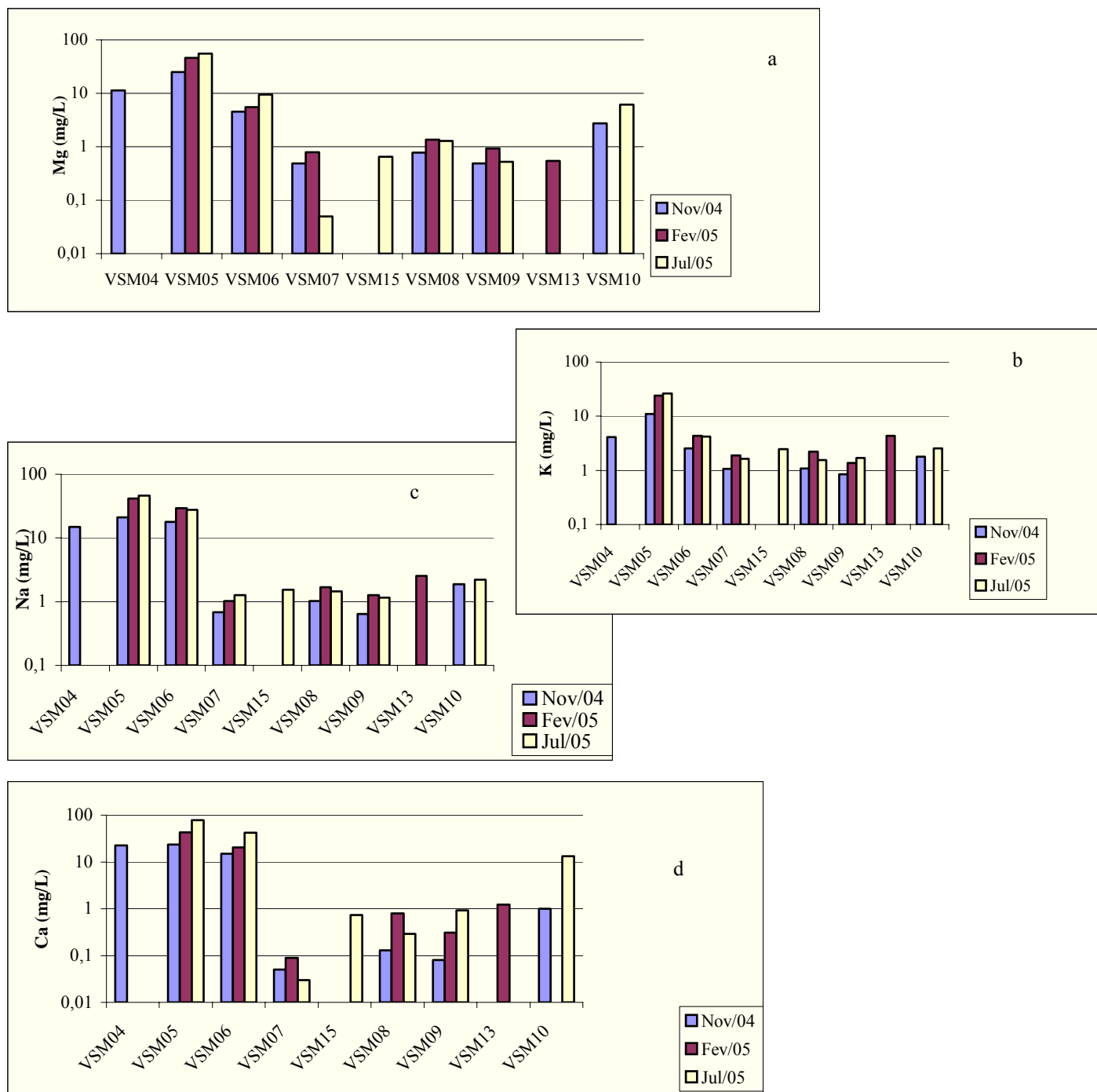


Figura 58: Variações de cátions principais (mg/L) nas águas subterrâneas em relação as diferentes campanhas de amostragem: (a) Mg, (b) K, (c) Na, (d) Ca.

Na Bacia do Córrego Palmeiras as amostras do aquífero granítico referente ao poço tubular VSM06 apresentam concentrações mais elevadas de  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  comparativamente as amostras das lavras pegmatíticas (VSM07,08,09,10,13 e 15). Este fato pode ser associado à diferença na profundidade da amostragem. As amostras do poço tubular VSM06 representam porções mais profundas do aquífero granítico em que o maior tempo de contato água/rocha e o aumento da temperatura favorece as reações de alteração mineral, disponibilizando íons solúveis para as águas (Gascoyne, 2004).

As concentrações máximas, mínimas e médias para  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  em amostras de lavras localizadas na Bacia do Córrego Palmeiras são apresentadas na tabela 20.

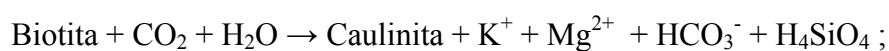
Tabela 20: Valores máximos, mínimos e médios (em mg/L) de Mg, Na, K e Ca em amostras de água das lavras pegmatíticas, Bacia do Córrego Palmeiras.

	Mg	Na	K	Ca
Mínimo	0,05	0,06	0,8	0,03
Máximo	6,1	2,5	4,3	13,1
Média	1,3	1,4	1,9	1,4
Desvio Padrão	1,6	0,5	0,8	3,5

Na Bacia do Córrego Água Santa, as amostras de água subterrânea da lavra pegmatítica VSM05 apresentam concentrações mais elevadas de  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  comparativamente às amostras de lavras localizadas na Bacia do Córrego Palmeiras. Esse fato pode refletir variações na composição e no grau de faturamento dos pegmatitos e também das rochas encaixantes. Enquanto que na Bacia do Córrego Água Santa as encaixantes dos pegmatitos são predominantemente xistos e metagrauvas com veios de calcissilicáticas associados, na Bacia do Córrego Palmeiras as encaixantes são principalmente rochas quartzíticas e xistos.

Em geral, as concentrações de magnésio, sódio, potássio e cálcio nas águas ocorrentes nas lavras pegmatíticas podem ser associadas à composição granítica do aquífero. A concentração em  $STD < 500mg/L$  indica o intemperismo de silicatos (Housnlow, 1995).

As fontes para estes cátions e também uma provável fonte para bicarbonato podem ser associadas ao intemperismo de biotitas, feldspatos sódicos e potássicos de acordo com reações químicas do tipo (Faust & Aly, 1981):



e



As concentrações de alumínio em amostras de água subterrânea no período seco são inferiores a 0,05mg/L para todos os pontos de amostragem. No período chuvoso as concentrações de alumínio atingem valores em torno de 0,1 mg/L em amostras dos pontos VSM05 e VSM09, nos demais pontos os valores são <0,05 mg/L. Em amostras de lavras pegmatíticas as concentrações de ferro variam de 0,01mg/L a 0,09 mg/L, exceto para o ponto VSM05 onde a concentração máxima atinge 0,1 mg/L. Nas amostras de poços tubulares a concentração máxima foi de 0,2 mg/L em amostra do ponto VSM06.

Entre os elementos traços com concentrações acima do limite de detecção destacam-se apenas bário (40,0 µg/L) e zinco (55,0 µg/L).

### Ânions

O comportamento dos ânions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em relação aos diferentes períodos e pontos de amostragem pode ser visualizado nas figuras 59, 60 e 61.

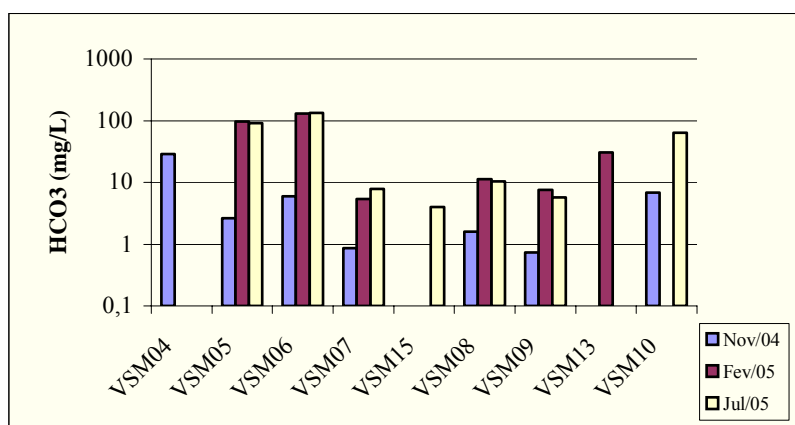


Figura 59: Concentrações de bicarbonato (mg/L) em diferentes períodos e pontos de amostragem de águas subterrâneas.

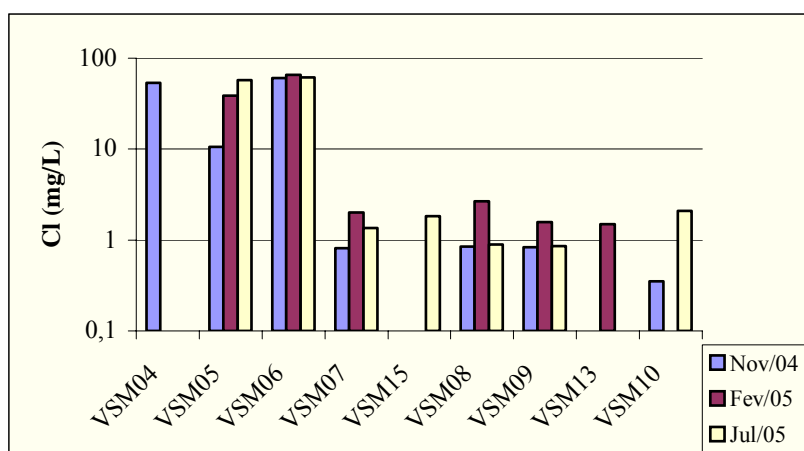


Figura 60: Concentrações de cloreto (mg/L) em diferentes períodos e pontos de amostragem de águas subterrâneas.

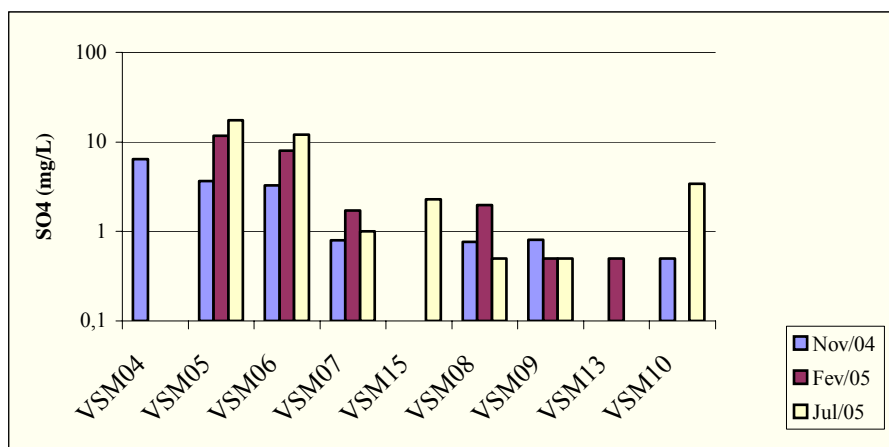


Figura 61: Concentrações de sulfato (mg/L) em diferentes períodos e pontos de amostragem de águas subterrâneas.

No aquífero granítico, as amostras coletadas em lavras pegmatíticas detêm concentrações de ânions principais mais baixas relativamente às amostras do poço tubular (VSM06).

Em amostras de lavras pegmatíticas, as concentrações de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  são mais elevadas no ponto VSM05 (Bacia do Córrego Água Santa) relativamente às amostras de lavras localizadas na Bacia do Córrego Palmeiras. No ponto VSM05 as concentrações máximas de cloro e sulfato são, respectivamente, 57,2 e 17,6 mg/L, enquanto que em amostras de água das lavras localizadas na Bacia do Córrego Palmeiras as concentrações destes elementos não ultrapassam, respectivamente, 2,7 e 3,4 mg/L (Tabela 21).

Em relação a variações sazonais, as concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  são mais elevadas no período seco.

Tabela 21: Valores máximos, mínimos e médios (em mg/L) de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em amostras de água das lavras pegmatíticas, Bacia do Córrego Palmeiras.

	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Mínimo	0,73	0,35	< 0,5
Máximo	64,2	2,7	3,4
Média	12,0	1,3	1,7
Desvio Padrão	17,3	0,7	0,9

As concentrações de carbonato são inferiores a 1,0mg/L em todas as amostras. As concentrações de fluoreto são inferiores a 0,25mg/L, exceto para o ponto VSM06 que apresenta valores em torno de 0,5mg/L. Já o fosfato apresenta concentração máxima em torno de 0,2mg/L.

### *Serie Nitrogênio*

As faixas de variação para os elementos desta série são: nitrogênio orgânico 0,2 a 0,6 mg/L; nitrogênio amoniacal <0,1 a 0,3 mg/L; nitrito <0,001 a 0,03 mg/L. O nitrato apresenta concentrações inferiores a 0,01 a máximas de 9,78 mg/L, exceto no ponto VSM05 onde a faixa de variação é de 0,07 a 492,8 mg/L.

As altas concentrações de nitrato no ponto VSM05 estão associadas aos períodos de amostragem de intensas atividades de lavras, sendo constante o uso de explosivos para a abertura de novas galerias. Após a desativação da lavra a concentração de nitrato reduziu para 0,07mg/L. Desta forma, a fonte provável para as altas concentrações de nitrato nas amostras de águas deste ponto estaria relacionada à utilização de explosivos a base de nitrato. Possivelmente estas altas concentrações de nitrato no ponto VSM05 podem estar contribuindo para valores elevados de sólidos dissolvidos em relação aos demais pontos de amostragem. Este fato é corroborado pelo alto coeficiente de correlação (0,983) verificado entre nitrato e sólidos dissolvidos.

### *OD, DBO e DQO*

Na área de estudo, as águas subterrâneas apresentam taxas de oxigênio dissolvido em torno de 6,8mg/L. A DBO apresenta valor máximo de 2,0 mg/L, enquanto que os valores de DQO são normalmente inferiores a 10,0 mg/L.

### *Parâmetros Microbiológicos*

As concentrações de coliformes termotolerantes (CT) e estreptococos fecais (EF) nos diferentes períodos e pontos de amostragem podem ser visualizados nas figuras 62 e 63.

Os valores elevados obtidos para os parâmetros microbiológicos no período chuvoso demonstram a susceptibilidade do sistema subterrâneo à contaminação.

Nas amostras de água subterrâneas da área de estudo as relações entre coliformes termotolerantes e estreptococos fecais (Von Sperling, 1996) indicam que a contaminação é tanto por fezes animais quanto por esgoto doméstico.

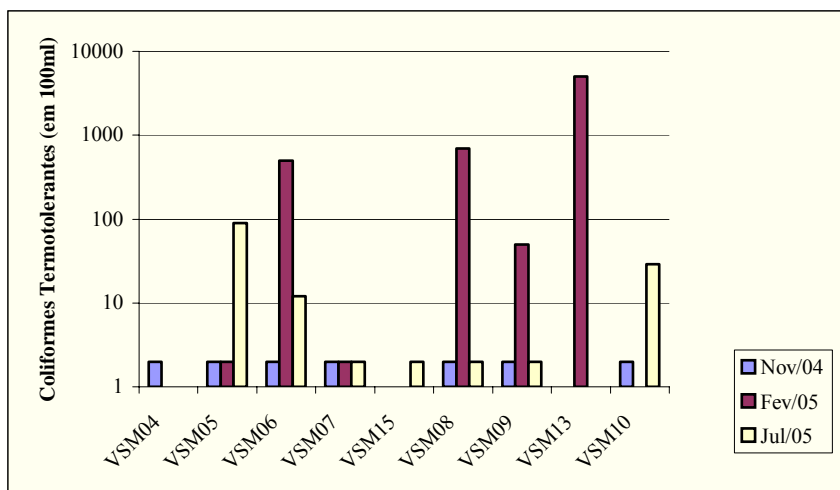


Figura 62: Concentração de coliformes termotolerantes (em 100ml) em amostras de água subterrânea.

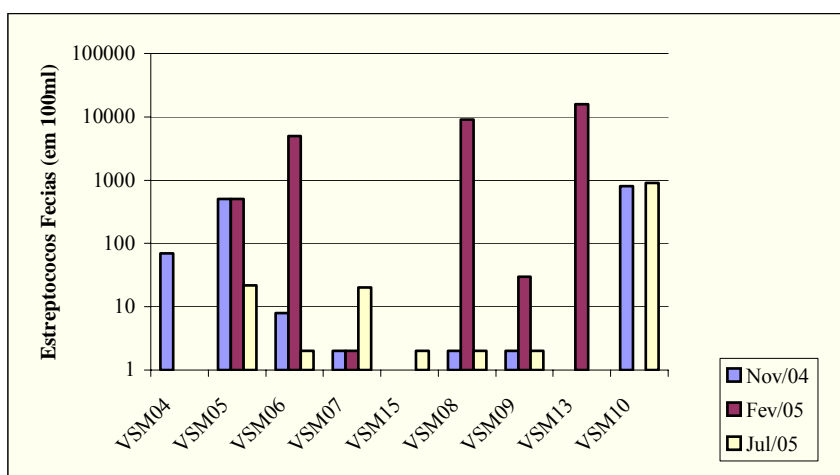


Figura 63: Concentração de estreptococos fecais (em 100ml) em amostras de água subterrânea.

### 5.4.3 Discussões

As interpretações dos resultados hidroquímicos obtidos neste trabalho foram dificultadas ou limitadas em função da inexistência de dados a cerca das características hidrodinâmicas tanto das águas superficiais quanto dos sistemas aquíferos. Além disso, o monitoramento foi prejudicado pelas dificuldades de acesso a alguns pontos de amostragem, especialmente no período chuvoso e por problemas analíticos na determinação de alguns parâmetros analisados, como bicarbonatos e elementos traços. Entretanto, algumas discussões e considerações podem ser efetuadas.



### *Águas Superficiais*

Segundo Whitton (1975) a capacidade de transporte dos sistemas de drenagem de uma bacia constitui um dos processos que melhor explica o comportamento dos sólidos totais ou dissolvidos em sistemas aquáticos.

Nos córregos Água Santa e Palmeiras, os valores de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos tendem a aumentar em direção a jusante. Este fato indica uma contribuição significativa de partículas transportadas pelos tributários destes córregos e por escoamento superficial da água chuva, já que os valores mais elevados de condutividade e sólidos dissolvidos estão associados ao período chuvoso.

Apesar do sódio ser altamente solúvel em água, nos córregos Água Santa e Palmeiras os íons potássio e magnésio apresentam os maiores coeficientes de correlação com sólidos dissolvidos. Este fato indica que a lixiviação de solos e rochas constitui um importante fator na dominância destes íons nas águas.

Embora os valores de condutividade elétrica reflitam preferencialmente as concentrações dos íons dominantes ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$ ), nos pontos a jusante das vilas garimpeiras (VSM02 e VSM12) as concentrações ligeiramente mais elevadas de fosfato e nitrato podem contribuir para o aumento da condutividade elétrica.

Através dos valores de pH podem ser inferidas importantes informações sobre os ecossistemas aquáticos. Estes valores são considerados como um bom indicador de fontes poluidoras, assim como de fenômenos ligados aos processos de autodepuração das drenagens (Esteves, 1998). Nos córregos Água Santa e Palmeiras, o caráter levemente ácido das águas no período chuvoso associado aos valores mais altos de fosfatos, nitratos, DQO e parâmetros microbiológicos, indicam um maior conteúdo orgânico nas águas, e conseqüentemente, uma maior demanda de ácidos para a decomposição desta carga orgânica.

### *Nascentes e Águas Subterrâneas*

Nas águas subterrâneas, como era de se esperar, as concentrações iônicas são mais elevadas que as das águas superficiais, graças a maior interação entre água e rocha.

As amostras de nascente e de poço tubular referente ao terreno xistoso (VSM03 e VSM04) apresentam uma maior tendência a salinização dada por valores médios de sólidos dissolvidos mais elevados comparativamente as amostras de nascente e de poço tubular referente do terreno granítico (VSM11 e VSM06).

Este fato pode ser associado a variações composicionais entre os aquíferos bem como na intensidade e tipos de descontinuidades presentes nas rochas.

Os aquíferos xistosos estão freqüentemente intercalados por litotipos de composição carbonática que apresentam menor estabilidade ao frente intemperismo químico em comparação com os constituintes típicos dos granitos, os quais destacam micas e feldspatos sódicos e potássicos. Este fato também influencia a predominância de íons  $\text{Ca}^{2+}$  nos xistos e  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nos granitos. Além disso, os planos de xistosidade mais freqüentes e menos espaçados no xistos podem promover uma maior interação água-rocha, relativamente aos planos de fraturas nos granitos que são normalmente mais espaçados e sem conexão em profundidade.

Em amostras de lavras pegmatíticas coletadas na Bacia do Córrego Palmeiras destaca-se a similaridade nos valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos cujas médias são, respectivamente, 41,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 55,4 mg/L.

Já as amostras da lavra VSM05 (Bacia do Córrego Água Santa) apresentam valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos em torno de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 900,0 mg/L, que contrastam com os resultados obtidos para as demais lavras. Estes valores elevados podem ser influenciados pelas altas concentrações em nitrato (cerca de 490,0mg/L) encontradas nas amostras desta lavra. Entretanto, as concentrações dos cátions dominantes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) também são mais elevadas nas amostras desta lavra em relação às demais. Este fato pode indicar a influência da composição das rochas encaixantes nas águas ocorrentes nas lavras.