

Figura 7.1.9.2-12 Vazões geradas e observadas em Cana – período 10 min

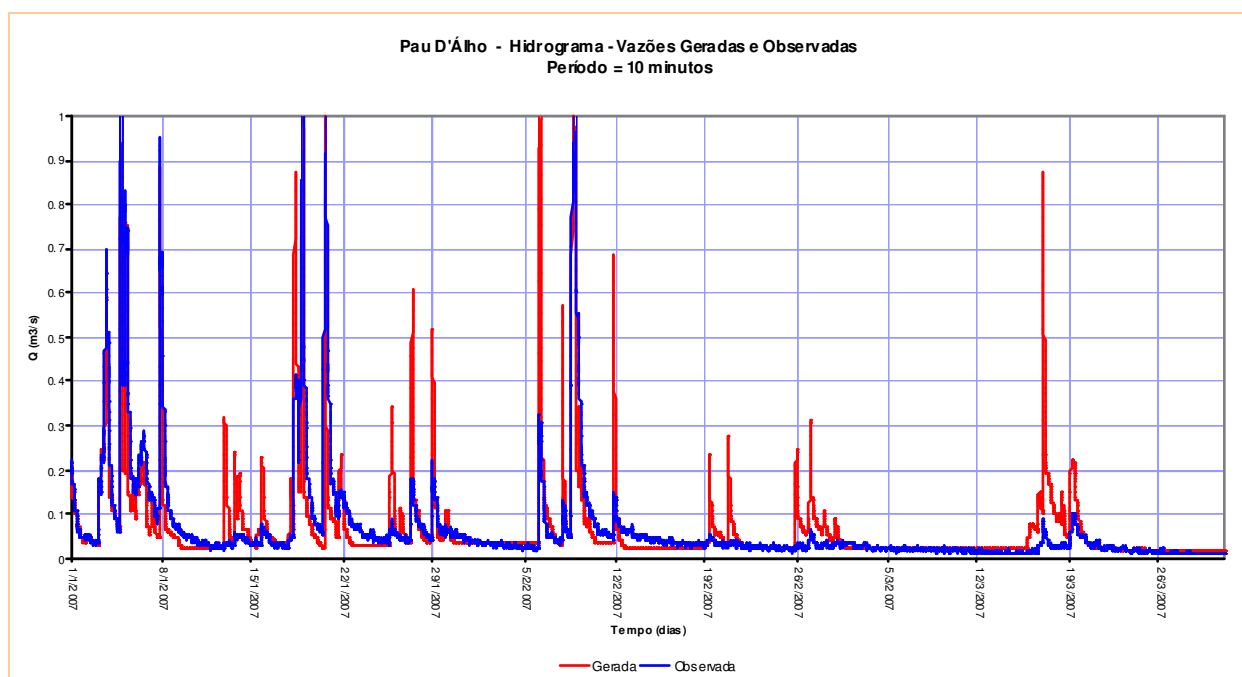


Figura 7.1.9.2-13 Vazões geradas e observadas em Pau D'Álho

• Período 10 min

ROP x SMI (Porcentagem de “Run-off” x Índice de Umidade do Solo)

7.1 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL-MEIO FÍSICO

EIA/RIMA Complexo Argileiro de Santa Gertrudes

Diabásio:
$$ROP (\%) = \frac{100}{1 + e^{-0,03 * (SMI - 50)}}$$

Cana:
$$ROP (\%) = \frac{100}{1 + e^{-0,03 * (SMI - 50)}}$$

Pau D'Álho:
$$ROP (\%) = \frac{100}{1 + e^{-0,01 * (SMI - 50)}}$$

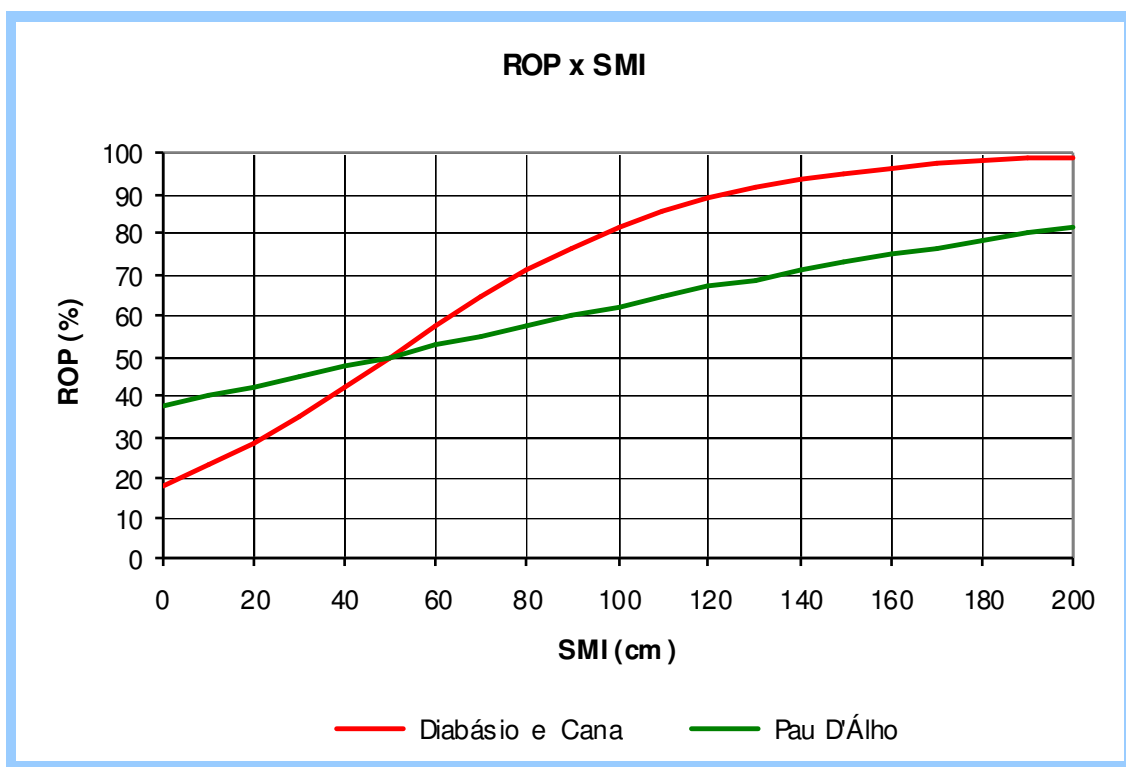


Figura 7.1.9.2-14 ROP x SMI 10 min

BFP x BII (Porcentagem de Escoamento de Base x Índice de Infiltração do Escoamento de Base)

Diabásio:
$$BFP (\%) = \frac{5 + (60 - 5)}{e^{5 \cdot BII}}$$

Cana:
$$BFP (\%) = \frac{5 + (60 - 5)}{e^{5 \cdot BII}}$$

Pau D'Alho:
$$BFP (\%) = \frac{5 + (90 - 5)}{e^{5 \cdot BII}}$$

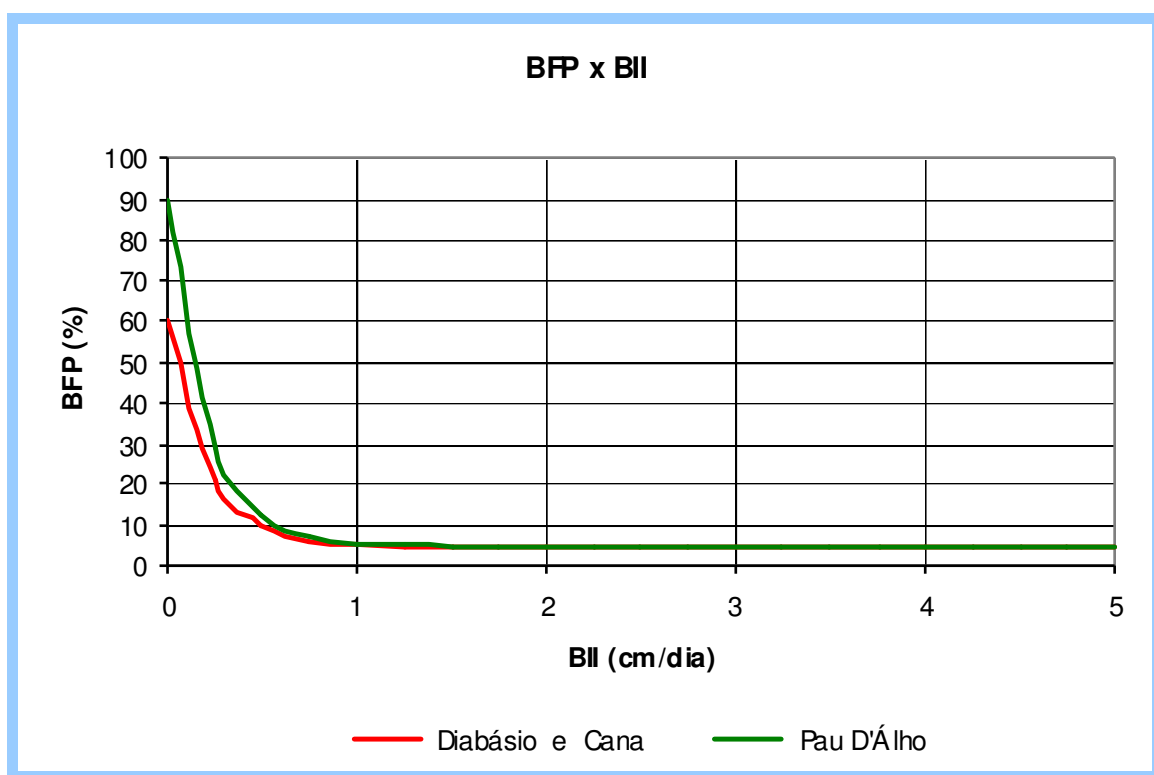


Figura 7.1.9.2-15 BFP x BII 10 min

RST x RGS (Escoamento Superficial x Escoamento Superficial + Escoamento Sub-superficial)

Diabásio:

$$RST \text{ (cm/h)} = (0,225 + 0,1 * RGS / 0,01625) * RGS \quad se: RST < 0,01625$$

$$RST \text{ (cm/h)} = RGS - 0,01625 \quad se: RST > 0,01625$$

Cana:

$$RST \text{ (cm/h)} = (0,3 + 0,275 * RGS / 0,01) * RGS \quad se: RST < 0,01$$

$$RST \text{ (cm/h)} = RGS - 0,01 \quad se: RST > 0,01$$

Pau D'Alho:

$$RST \text{ (cm/h)} = (0,275 + 0,2 * RGS / 0,01) * RGS \quad se: RST < 0,01$$

$$RST \text{ (cm/h)} = RGS - 0,01 \quad se: RST > 0,01$$

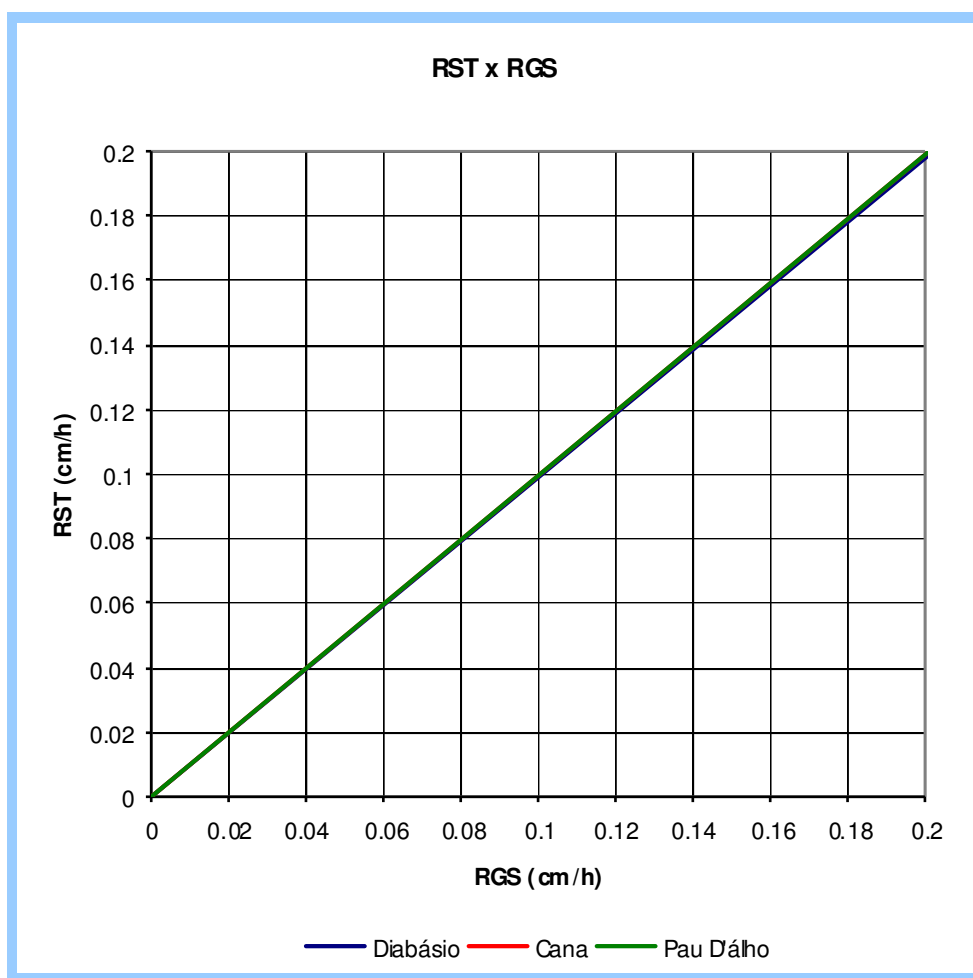


Figura 7.1.9.2-16 RST x RGS 10 min

KET x WPT (Eficiência da Evapotranspiração x Precipitação)

Diabásio:
$$KET (\%) = \frac{2,5 + (100 - 2,5)}{e^{0,0625 * WPT}}$$

Cana:
$$KET (\%) = \frac{2 + (50 - 2)}{e^{0,15 * WPT}}$$

Pau D'Alho:
$$KET (\%) = \frac{2 + (50 - 2)}{e^{0,15 * WPT}}$$

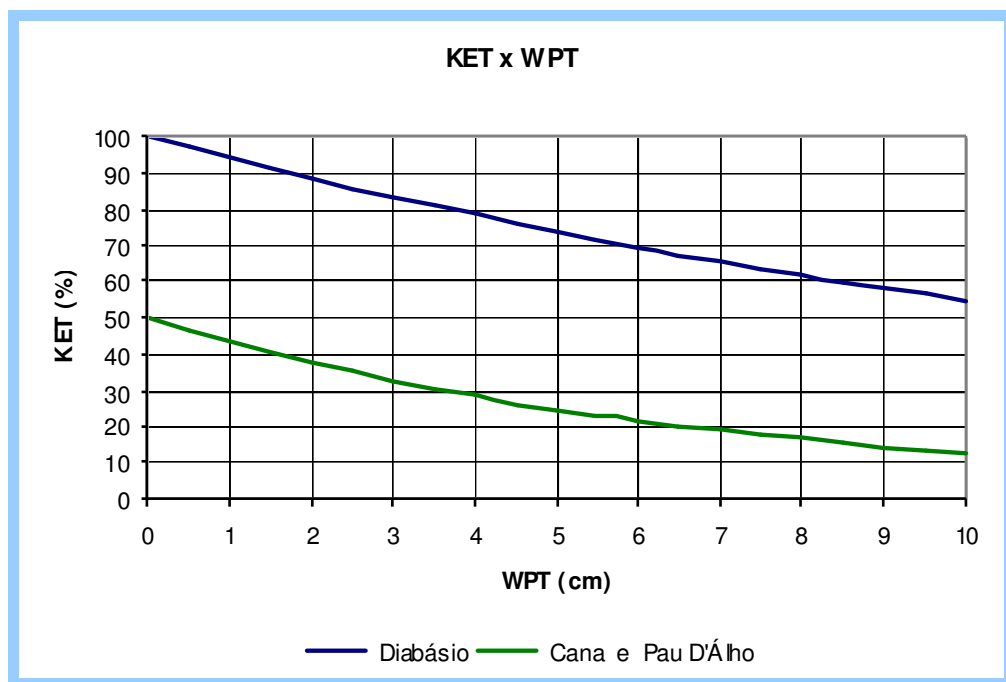


Figura 7.1.9.2-17 – KET x WPT 10 min



• Período 1440 min (1 dia):

ROP x SMI (Porcentagem de “Run-off” x Índice de Umidade do Solo)

Diabásio

$$ROP = \frac{100 * 1}{1 + e^{-0,0375 * (SMI - 50)}}$$

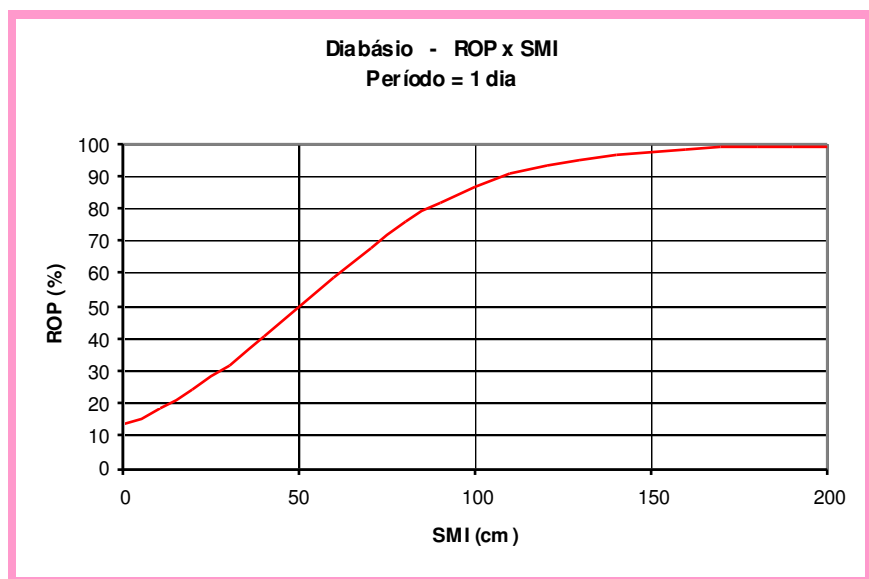


Figura 7.1.9.2-18 – ROP x SMI 1dia

BFP x BII (Porcentagem de Escoamento de Base x Índice de Infiltração do Escoamento de Base)

$$BFP = \frac{15 + (97,5 - 15)}{e^{2,375 * BII}}$$

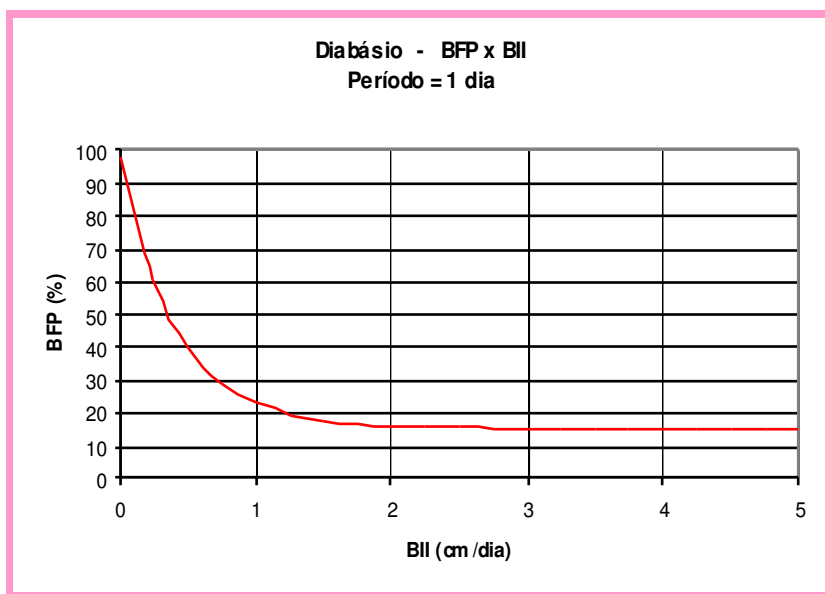


Figura 7.1.9.2-19 – BFP x BII 1 dia

RST x RGS (Escoamento Superficial x Escoamento Superficial + Escoamento Sub-superficial)

$$RST = (0,1 + 0,1 * RGS / 0,01) * RGS \quad se: RST < 0,01$$

$$RST = RGS - 0,01 \quad se: RST > 0,01$$

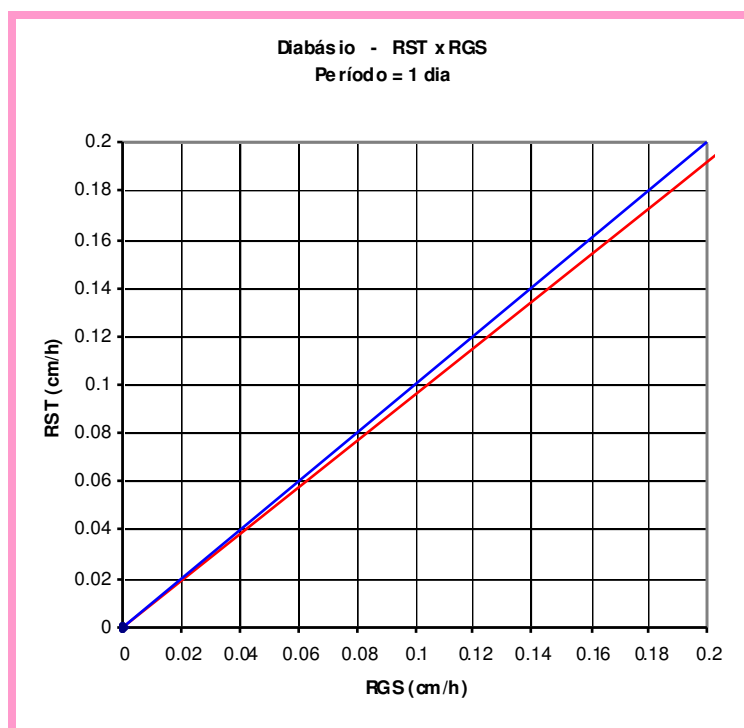


Figura 7.1.9.2-20 RST x RGS 1 dia

KET x WPT (Eficiência da Evapotranspiração x Precipitação)

$$KET = \frac{2 + (62,5 - 2)}{e^{0,0625 * WPT}}$$

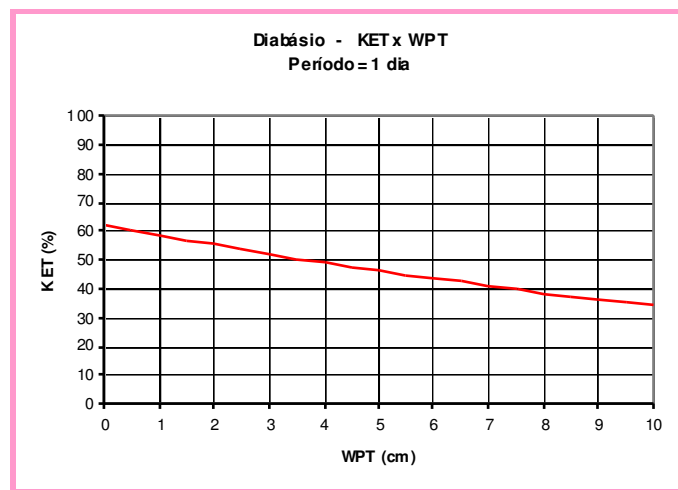


Figura 7.1.9.2-21 – KET x WPT 1 dia

Cálculos dos $Q_{7,10}$ locais

Uma vez calibradas as sub-bacias foram geradas séries históricas, com a utilização de dados de chuva diários do posto pluviométrico D4-12 (Rio Claro), de 1/1/1937 a 31/12/1999, totalizando 63 anos (23009 dias).

De posse das séries históricas geradas utilizando a calibração pelo modelo TUPI, foram determinadas, para cada sub-bacia, as vazões de estiagem de 7 dias consecutivos (Q_7) equivalentes a cada ano disponível da série histórica gerada. Para cada uma destas séries de valores mínimos, foi ajustada uma distribuição de probabilidade de Weibull, para determinação da vazão Q_7 para o período de retorno de 10 anos, ou seja, a $Q_{7,10}$. A distribuição de Weibull se adapta de maneira excelente a séries de valores extremos mínimos, e pode ser representada pela equação:

$$F(Q) = 1 - e^{-\left(\frac{Q - Q_0}{\beta - Q_0}\right)^k}$$

Os coeficientes da expressão acima foram obtidos fazendo uso do Método dos Mínimos Quadrados, nas diferenças entre os dados obtidos e os ajustados pela expressão teórica de Weibull.

As **Figuras 7.1.9.2-22 a 7.1.9.2-25** mostram, para cada série de vazões geradas, os gráficos de frequência acumulada das vazões mínimas de 7 dias consecutivos (Q_7), e o respectivo ajuste pela distribuição de Weibull.



Em relação à sub-bacia Diabásio, que possui dois períodos disponíveis para calibração, optou-se pela validade da calibração usando o Período 2, com 3 meses de dados do ano de 2007, em intervalos de 10 minutos, pela proximidade dos resultados em relação à calibração usando o Período 1 (11 meses de 2005, intervalos de 1 dia) e pelo fato das outras duas sub-bacias (Cana e Pau D'Alho) possuírem períodos de dados simultâneos aos da sub-bacia Diabásio.

As Figuras seguintes mostram os resultados da aplicação da distribuição de Weibull às bacias.

• **Diabásio – Período 1440 min (1 dia):**

$$F(Q) = \frac{1}{T_R} = 1 - e^{-\left(\frac{Q - 0,0042}{0,007 - 0,0042}\right)^{3,2}} \quad Q_{7,10} = 5,586 \text{ l/s}$$

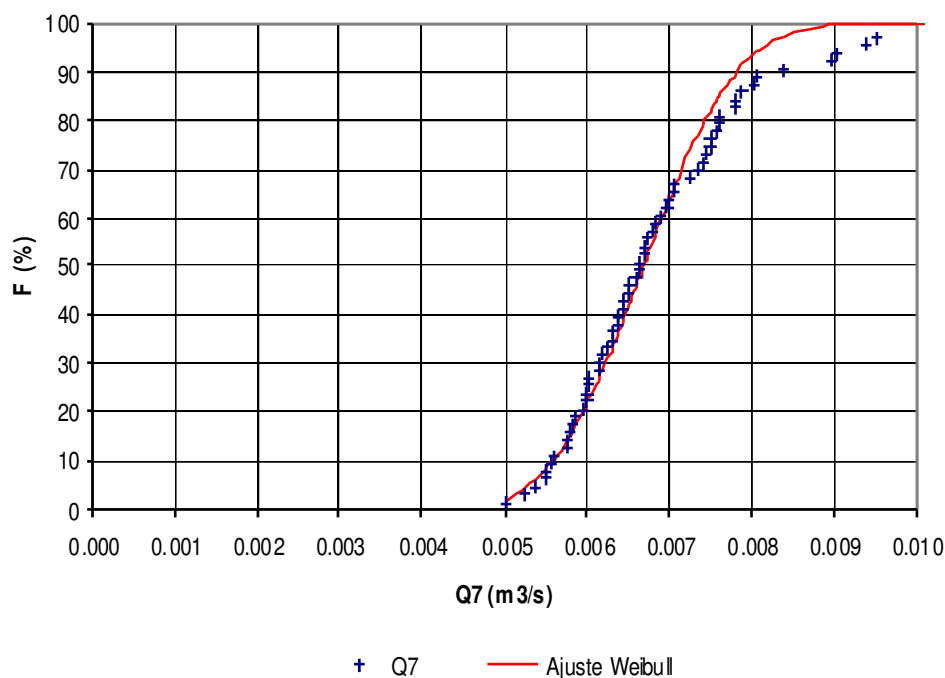


Figura 7.1.9.2-22 – Frequência acumulada da Q7 em Diabásio – período 1 dia.

• **Diabásio – Período 10 min:**



$$F(Q) = \frac{1}{T_R} = 1 - e^{-\left(\frac{Q - 0,0022}{0,00615 - 0,0022}\right)^3} \quad Q_{7,10} = 4,066 \text{ l/s}$$

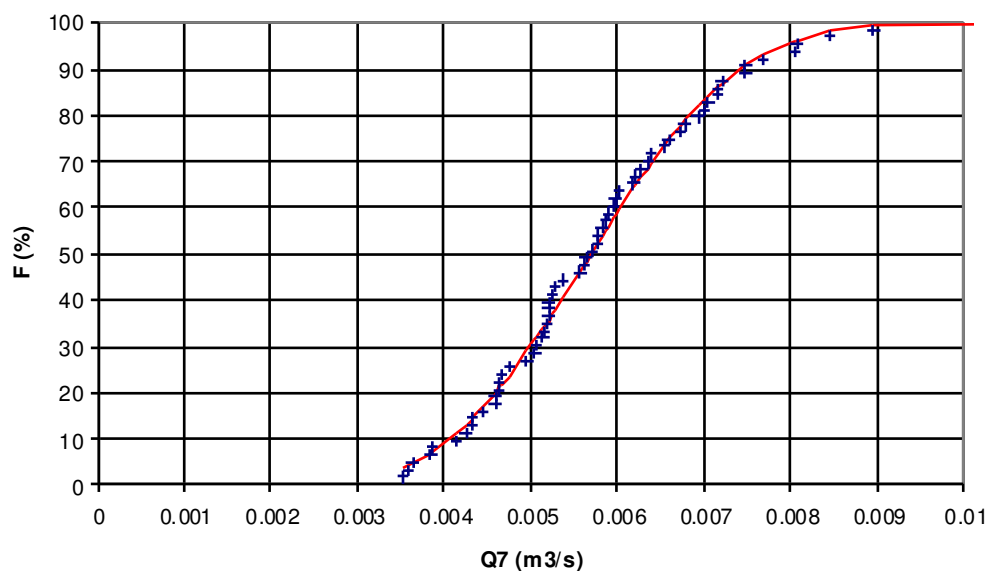


Figura 7.1.9.2-23 – Frequência acumulada da Q7 em Diabásio – período 10 min.

Cana – Período = 10 min:

$$F(Q) = \frac{1}{T_R} = 1 - e^{-\left(\frac{Q - 0,0027}{0,0066 - 0,0027}\right)^{1,9}} \quad Q_{7,10} = 3,893 \text{ l/s}$$

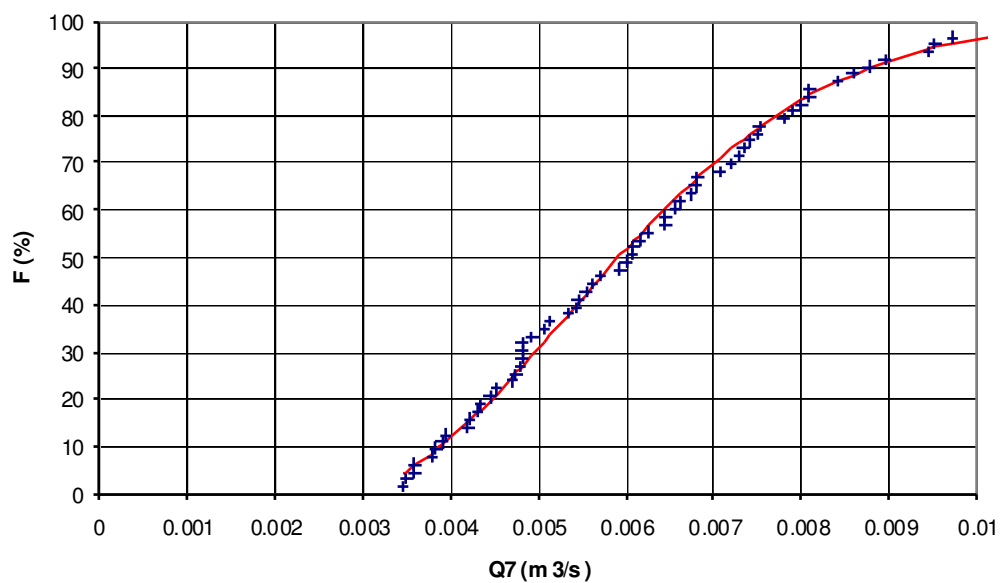


Figura 7.1.9.2-24: Frequência acumulada da Q7 em Cana – período 10 min.



• Pau D'Alho – Período 10 min:

$$F(Q) = \frac{1}{T_R} = 1 - e^{-\left(\frac{Q - 0,0035}{0,008 - 0,0035}\right)^{3,1}} \quad Q_{7,10} = 5,677 \text{ l/s}$$

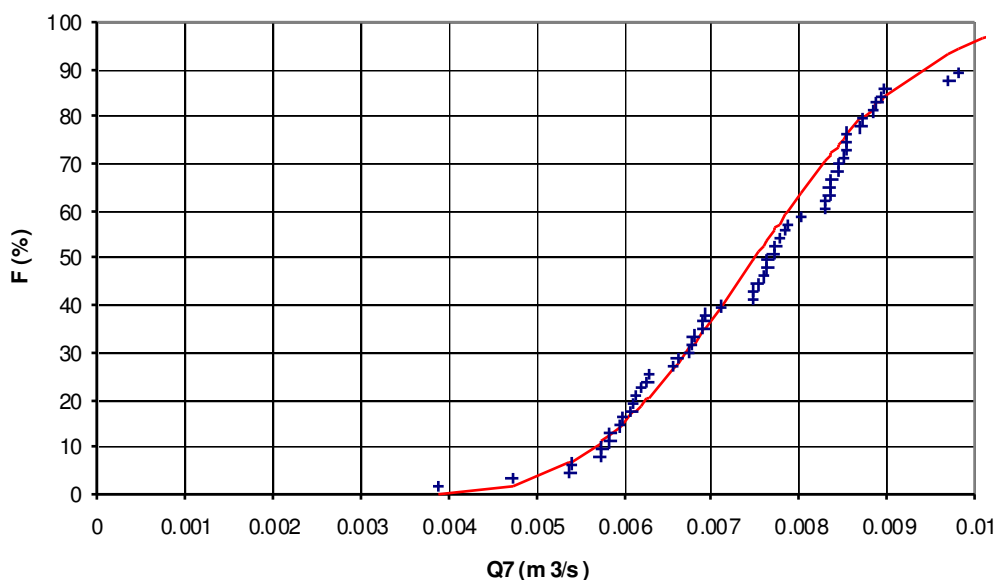


Figura 7.1.9.2-25 – Frequência acumulada da Q7 em Pau D'Alho – período 10 min.

Assim, utilizando-se somente a calibração de curto período, ou seja, Período 2 (10 minutos), de 01/01/2007 a 31/03/2007, totalizando 89,5 dias, as vazões $Q_{7,10}$ para cada sub-bacia monitorada resultaram em:

Diabásio – $Q_{7,10} = 4,07 \text{ l/s}$

Cana – $Q_{7,10} = 3,89 \text{ l/s}$

Pau D'Alho – $Q_{7,10} = 5,68 \text{ l/s}$

O **Quadro 7.1.9.2.-5** resume os resultados em termos das vazões específicas, ou seja, a vazões obtidas para uma bacia hidrográfica com área de drenagem de 1 km^2 .

Quadro 7.1.9.2.-5 – Vazões específicas geradas

Bacia	$Q_{7,10}$	A.D.	$Q_{7,10}$ específica	$Q_{7,10}$ específica
	l/s	km^2	l/s.km^2	$\text{m}^3/\text{h.km}^2$



F1 Diabásio	4,07	1,17	3,48	12,53
F2 Pau D'Alho	5,68	1,77	3,21	11,56
F3 Cana	3,89	0,80	4,86	17,50

Comparação dos valores de $Q_{7,10}$

As vazões geradas nas duas sub-bacias (Diabásio e Cana) sem influência de mineração resultaram em vazões específicas $Q_{7,10}$ de 3,48 e 4,86 l/s.km² (**média de 4,17 l/s.km², ou 15 m³/h.km²**), valores maiores que o valor obtido com a utilização das equações de regionalização do DAEE, igual a 2,53 l/s.km². Observe-se que este último valor é obtido através de uma regionalização de parâmetros hidrológicos realizada com séries históricas de vazões de postos fluviométricos monitorados em bacias de área de drenagem bem maiores que as áreas do presente estudo (maiores que cerca de 100 km²), fato este que pode explicar parte do desvio encontrado entre os valores. Não existem séries longas de vazões medidas em bacias pequenas deste porte. Somam-se a este fato ainda as incertezas naturais nos dados e no período disponível (janeiro-abril, período chuvoso, de ano hidrológico normal) para calibração através do modelo chuva-deflúvio.

Outro ponto a ser observado é a existência de bacias similares, porém com algumas diferenças entre si do ponto de vista hidrogeológico, na amostragem dos postos fluviométricos utilizados para a determinação, para esta região, das equações regionalizadas de $Q_{7,10}$. A demanda de informações hidrológicas é sempre maior que a oferta, advindo daí, muitas vezes, a necessidade de monitoramentos específicos, como neste caso.

Tais valores maiores que o da regionalização poderiam ser, de alguma maneira, contestados, já que a região argilosa é teoricamente mais impermeável que a macrorregião utilizada pelo DAEE na regionalização de vazões, e teria portanto uma capacidade de armazenamento menor, de onde se esperaria valores específicos de $Q_{7,10}$ até menores que os da regionalização.

Alguns dos poços piezométricos monitorados, por outro lado, mostram a existência de armazenamento, porém também mostram rápido esvaziamento desse reservatório. O já solo minerado tinha originalmente espessura de 2 a 7 m (UNESP, 2006).

Conforme se pode constatar na análise das precipitações na região do estudo, os períodos utilizados para calibração não representam períodos de fortes estiagens, mas sim de chuvas normais.

Assim, a calibração realizada com um período de quatro meses de dados de período chuvoso (e mesmo aquele com período de pouco menos de um ano), gera valores de vazão específica maiores, mas da mesma ordem de grandeza que o valor obtido pela equação de regionalização do DAEE, podendo ser utilizados para



dimensionamento neste estudo por serem conservativos, ou seja, a favor da segurança.

- **Qualidade de água**

O Ribeirão Santa Gertrudes e seus afluentes, segundo o Decreto Estadual Nº 10.755 de 1977, são enquadrados como corpos d'água de classe II, definida como águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho).

Para caracterização da qualidade de água foi realizada uma campanha de amostragem que abrangeu 10 pontos para os quais foram analisados os seguintes parâmetros:

Parâmetros físicos:

- Sólidos:
 - Totais (ST)
 - Em suspensão
 - Total (SST)
 - Fixos (SSF)
 - Voláteis (SSV)
 - Dissolvidos
 - Total (SDT)
 - Fixos (SDF)
 - Voláteis SDV)
- Condutividade
- Cor
- Turbidez

Parâmetros Químicos

- pH
- Acidez total
- Alcalinidade total a carbonatos e a bicarbonatos
- CO₂ livre
- Dureza total
- OD
- DQO
- DBO₅
- Óleos e graxas
- Fósforo Total
- Nitrogênio:
 - Total
 - Amoniacal



- Nitratos
- Nitritos
- Kjeldhal
- Sulfatos total e Sulfetos
- Cloreto
- Sódio
- Flúor
- Fenóis totais

Metais

- Alumínio total e solúvel
- Arsênio total
- Cádmio total
- Cálcio
- Cianeto livre
- Cobre dissolvido
- Cromo total
- Ferro total e ferro solúvel
- Mercúrio total
- Níquel total
- Sílica
- Zinco total

Parâmetros Biológicos

- Coliformes termotolerantes

Os pontos de monitoramento apresentaram as seguintes coordenadas geográficas, conforme apresentado no **Quadro 7.1.9.2-6** e **Figura 7.1.9.2-26**:

Quadro 7.1.9.2-6 Localização geográfica dos pontos de monitoramento

Ponto	Ponto GPS	Nº. Laudo	Coordenadas	
			UTM-E	UTM-N
1	235	207137	243.815	7.516.593
2	234	207138	243.353	7.516.312
3	233	207139	243.528	7.517.170
4	231	207140	245.043	7.518.372
5	229	207141	245.710	7.517.538
6	228	207142	245.042	7.516.774
7	227	207143	244.912	7.516.953
8	226	207144	244.066	7.518.063
9	225	207145	245.066	7.518.610
10	232	207146	244.936	7.516.113



7.1 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL-MEIO FÍSICO

EIA/RIMA Complexo Argileiro de Santa Gertrudes



7.1-146

*AR 327/08
11/06/2008*

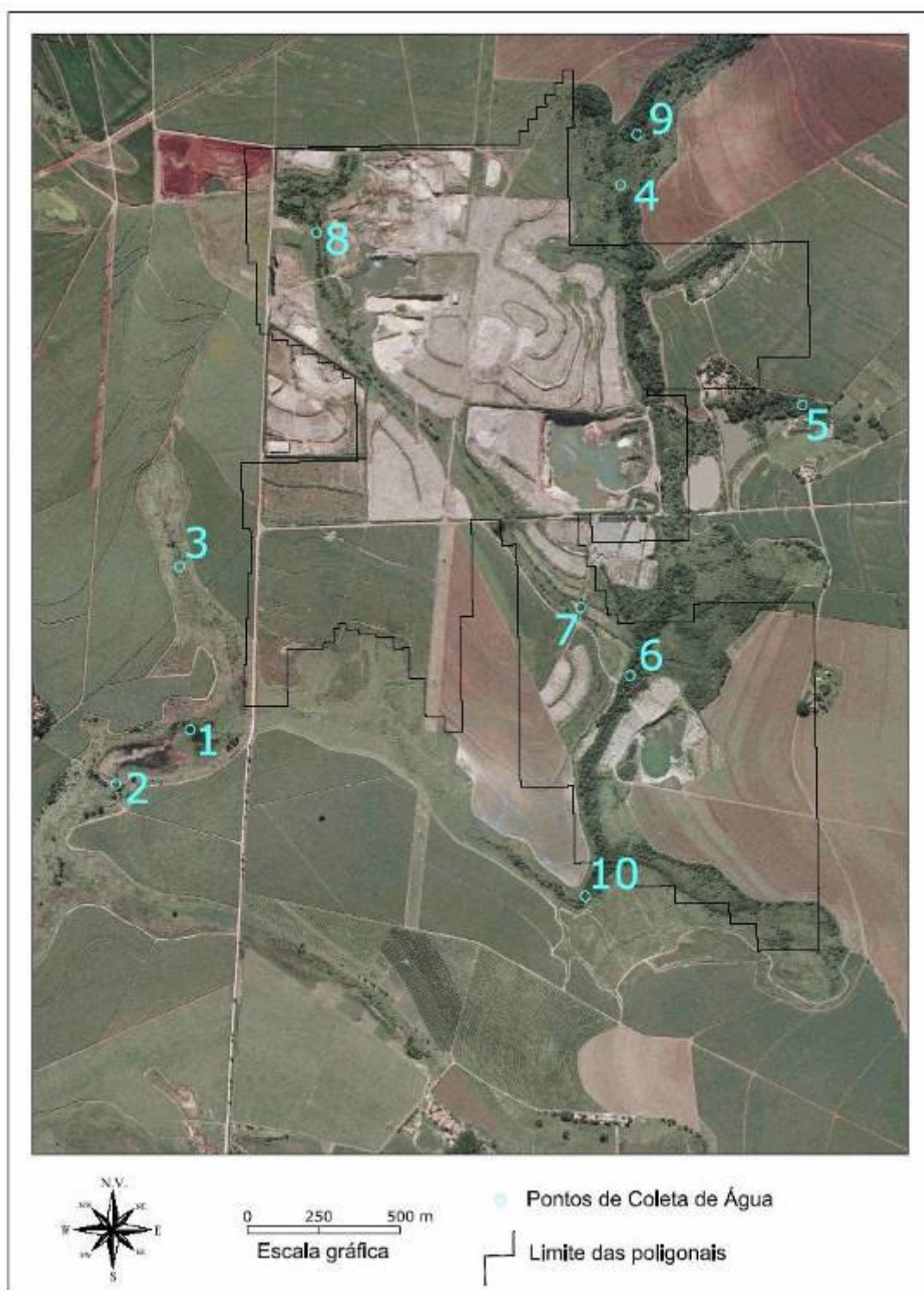


Figura 7.1.9.2-26: Localização dos Pontos de Coleta



Resultados :

O Quadro seguinte apresenta os resultados obtidos no monitoramento realizado em 20/04/2007, nos pontos apresentados na **Figura 7.1.9.2-26**. Cópia dos laudos do Laboratório são apresentadas no **Anexo X** acompanhadas da metodologia empregada na análise de cada um dos parâmetros.

Neste Quadro estão marcadas as distâncias entre os pontos de monitoramento e o ponto P9, situado mais a montante. Para os afluentes, a distância considerada é aquela entre a foz e o ponto P9. As células marcadas em laranja apresentam valores acima da legislação para a classe 2.



Quadro 7.1.9.2-7 Resultado do monitoramento realizado em 20/04/2007, valores em mg/L.

Parâmetro	Ponto									
	ribeirão Santa Gertrudes						Afluentes			
	P9	P4	P6	P10	P1	P2	P5	P8	P7	P3
Distância ao P9 (m)	0	164	1911	2707	4295	Res,	1121	---	1889	4202
Acidez	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Alcalinidade HCO ₃	40	33	28	27	29	31	13	32	41	35
Alumínio Total	0,09	0	0,25	0,18	1,98	0,12	1,62	0,12	0,11	
Alumínio dissolvido	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Arsênio	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Cádmio					0,0006					
Cálcio	7,07	5,1	4,18	4	4,27	4,3	2,44	4,65	6,06	4,72
Cianeto	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Cloreto	3,82		0,52	6,7	4,7	472		2,83		
Cobre solúvel	0	0,016	0	0,048	0					
Coliformes termotolerantes*	>23	23	>23	>23	>23	>23	>23	>23	>23	>23
Condutividade	65	49	44	46	46	46	23	50	61	52
Cor aparente	225	234	105	116	162	132	231	193	107	130
Cromo	0	0	0	0	0,0037	0	0	0	0	0
DBO _{5,20}	1	1	1	1	2	1	1	5	1	2
CO ₂	11	19	6,3	5,5	11	14	8,8	18	21	22
DQO	7	12	14	12	18	14	12	21	9	16
Dureza total	31,6	22,9	18,8	18,3	20,3	19,6	9,7	21,3	27,7	
Estanho	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Fenóis	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Ferro solúvel	0,846		0,357	0,439	0,113	0,155				
Ferro total	5,59	7,13	1,83	1,67	5,36	2,22	3,68	4,53	1,85	3,49
Fluoreto	<0,40	<0,40	<0,40	2,61	1,17	<0,40	<0,40	4,59	<0,40	<0,40
Fósforo total	0,108	0,142	0,136	0,328	0,091	<0,045	0,34	0,34	0,136	0,068

7.1 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL-MEIO FÍSICO

EIA/RIMA Complexo Argileiro de Santa Gertrudes



7.1-149

AR 327/08
11/06/2008



Parâmetro	Ponto									
	ribeirão Santa Gertrudes						Afluentes			
	P9	P4	P6	P10	P1	P2	P5	P8	P7	P3
Mercurio	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
N amoniacal	0,14	0,31	0,96	0,97	0,25	0,11	1,26	1,18	0,15	0,29
N Kjeldahl solúvel	0,07	0,26	0,59	0,77	0,14	0,1	0,76	0,32	0,17	0,21
N Kjeldahl total	1,68	0,76	1,05	1,8	0,53	0,4	1,66	1,74	0,07	2,28
Níquel	0,001	0	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,78	
Nitrato			0,11	0,1	0,2		0,27		0,002	0,11
Nitrito	Todos os valores menores que o limite de detecção do método									
Óleos e Graxas							12			
Oxigênio Dissolvido	Amostras prejudicadas									
pH	6,91	6,66	6,92	6,96	6,89	6,87	6,79	6,73	6,71	6,68
Sílica total	20	19	15	15	14	13	12	12	9,2	15
Sódio	2,51	2,22	2,43	2,4	2,61	2,39	1,22	2,37	3,47	3,23
SDF	67	31	30	34	30	15	10	31	31	28
SDT	70	45	41	48	39	40	13	35	45	43
SDV	3	14	11	14	9	25	3	4	14	15
SFT	97	40	34	34	99	22	26	41	35	32
SSF	30	9	4	0	69	7	16	10	4	4
SST	52	15	8	2	81	10	22	21	6	7
SSV	22	6	4	2	12	3	6	10	2	3
ST	122	60	49	50	120	50	35	55	51	50
SV	25	20	15	16	21	28	9	14	16	18
SO ₄		3	3	3	4	4		3	3	
Sulfeto	0,023	0,01								
Temperatura da água	Não realizada no momento da coleta									
Turbidez	25,7	18,3	12,2	14	38,5	12,7	52	22,7	11,7	14,4
Zinco	0,077	0,011	0,041	0,02	0,046	0,021	0,041	0,012	0,028	0,013

* Valores prejudicados por não apresentarem o valor máximo

7.1 – DIAGNÓSTICO AMBIENTAL-MEIO FÍSICO

EIA/RIMA Complexo Argileiro de Santa Gertrudes



7.1-150

AR 327/08

11/06/2008



Análise dos resultados

A- Sólidos

A figura seguinte apresenta o perfil da distribuição dos sólidos no ribeirão Santa Gertrudes.

Distribuição de sólidos

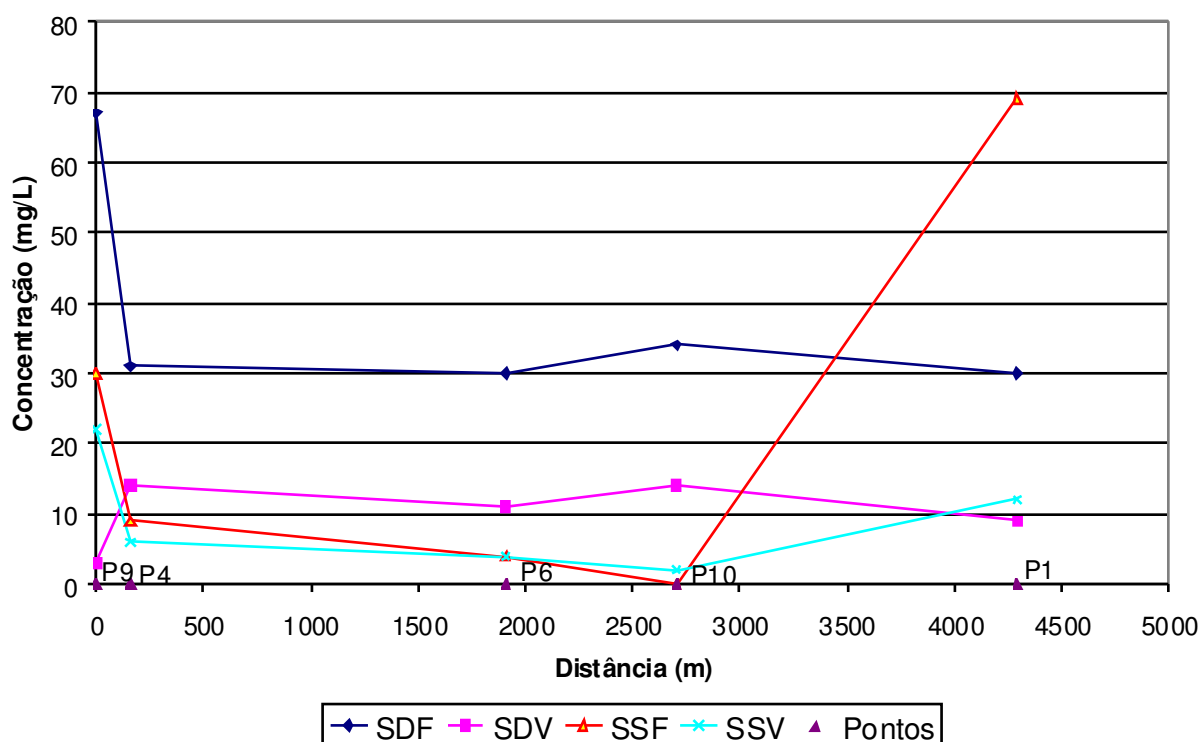


Figura 7.1.9.2-27 Perfil de distribuição dos sólidos ao longo do ribeirão Santa Gertrudes. (Distância em relação a P9)

Os sólidos fixos, que podem estar dissolvidos na massa d'água ou em suspensão, sob a forma de partículas, representam a parte inorgânica dos sólidos, ou seja aquela que provém dos solos.

Observa-se que os sólidos dissolvidos fixos predominam a montante e os sólidos suspensos fixos a jusante. Considerando-se que o trecho entre os pontos P10 e P1 apresenta uma declividade menor que o trecho de montante e, portanto uma velocidade mais baixa seria de se esperar que a situação fosse inversa. Esta constatação indica que há um fornecimento de sedimentos nessa região.

B- Alcalinidade e pH

O gráfico da Figura 7.1.9.2-28 mostra a relação entre a alcalinidade e o pH para as águas do ribeirão Santa Gertrudes.

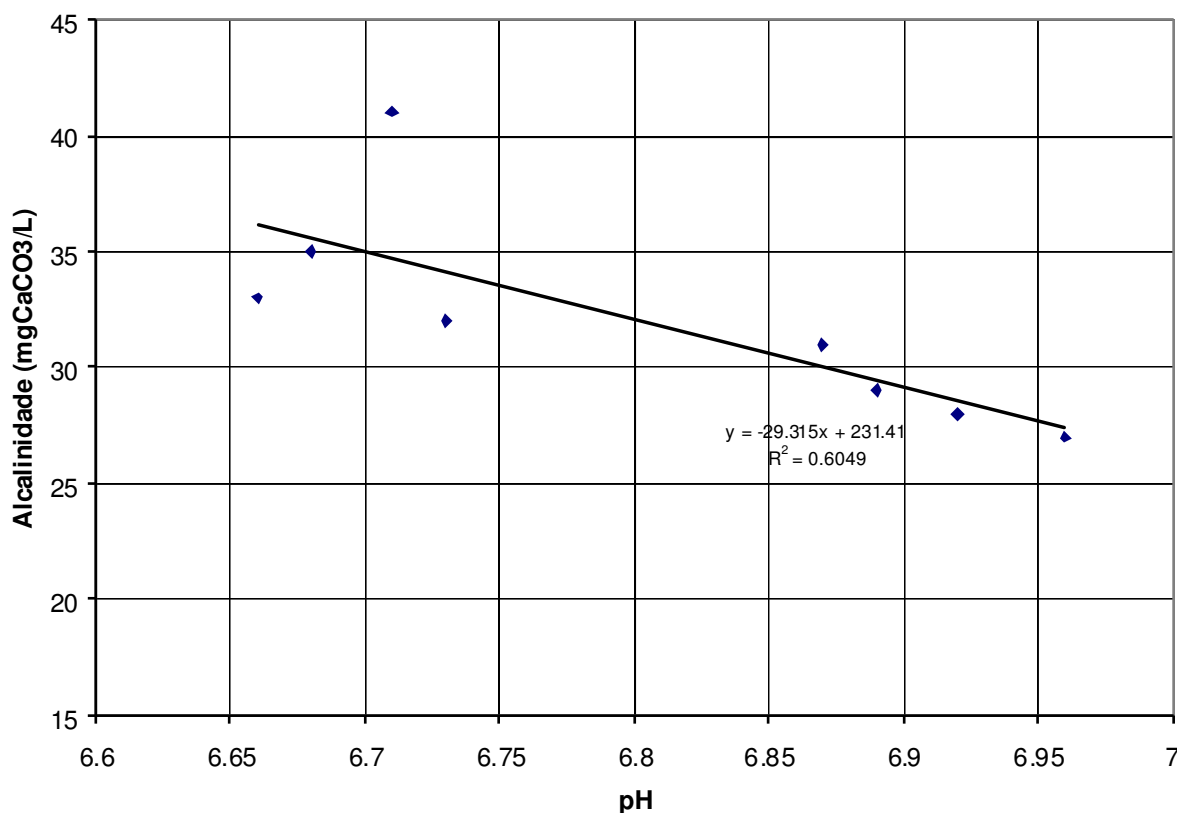


Figura 7.1.9.2-28 Relação entre a alcalinidade e o pH para as águas do ribeirão Santa Gertrudes

Observa-se que existe uma tendência de aumento do pH à medida em que há uma diminuição da alcalinidade, mostrando que há uma perda do efeito tampão.

C- Nutrientes

O limite para a classe 2 estabelecido pela Resolução Conama 347/05, para ambientes lóticos ou tributários de ambientes intermediários é de 0,1 mgP/L. A maior parte dos pontos apresentou valores acima destes limites, à exceção de P1, P2 e P3. Os pontos P1 e P2 situam-se no reservatório e o ponto P3 em um tributário situado a montante da área minerada. Da situação dos pontos enquadrados, pode-se concluir que em P1 e P2 há uma sedimentação do fósforo e no ponto P3 não há fornecimento de fósforo.

O fósforo é indicativo principalmente de poluição difusa urbana e rural, lançamento de esgotos domésticos e erosão de solos e excesso de matéria orgânica no reservatório. Na área da bacia a ocupação do solo é predominantemente rural e de mineração. Ambas as formas de ocupação podem fornecer o fósforo que se encontra alterado. Contudo, o ponto P3 situa-se em um tributário do ribeirão Santa Gertrudes, mas a jusante de áreas rurais. Além disto, o fósforo está predominantemente sob a forma particulada, uma vez que há sedimentação no



reservatório. Todas estas evidências indicam a existência de processo erosivo, a montante dos pontos P1 e P2, cuja contribuição pode ser proveniente das áreas mineradas ou das áreas de cana.

O nitrogênio não se apresenta alterado em nenhuma de suas frações, indicando mais uma vez que a origem dos nutrientes nas águas é a erosão dos solos.

D- Metais

Ferro

O gráfico seguinte mostra o perfil do ferro solúvel e total juntamente com os sólidos fixos dissolvidos e totais.

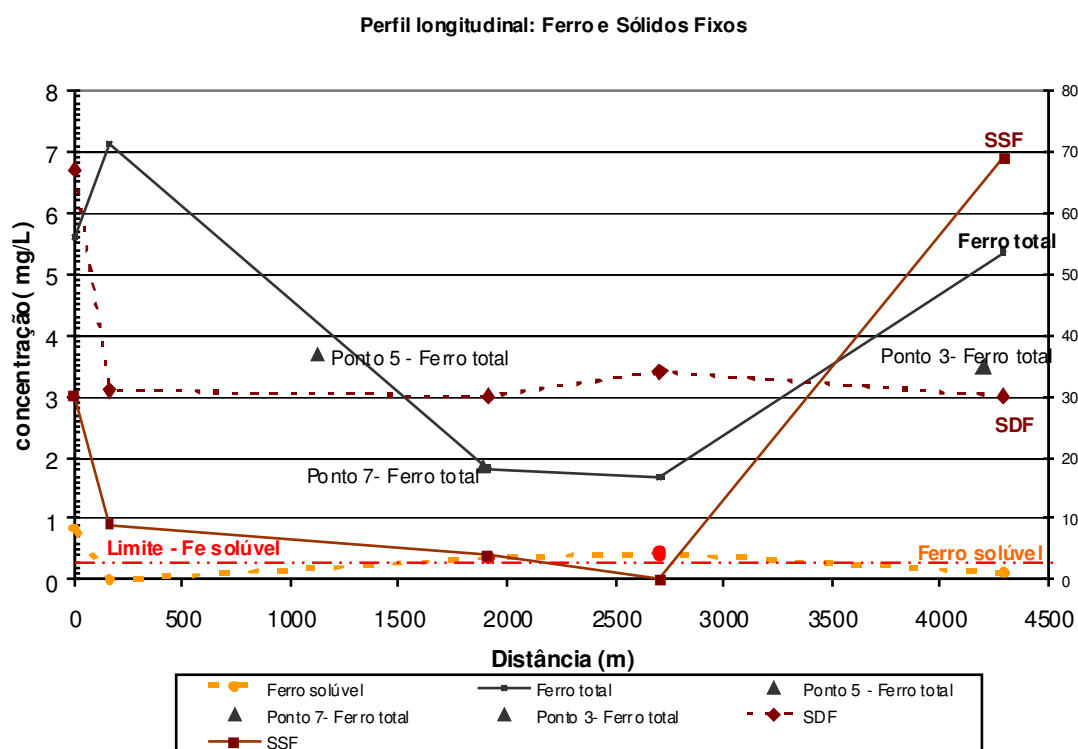


Figura 7.1.9.2-29 Perfil de concentração de ferro total, ferro dissolvido, sólidos fixos em suspensão e dissolvidos. (Distância em relação a P9)

Pelo gráfico da figura anterior, observa-se que o ferro encontra-se em valores superiores aos parâmetros limite da Resolução CONAMA 357/05, apenas nos pontos P6, P9 e P10. O ferro total não é limitado pela legislação, porém inclui o ferro solúvel e o ferro particulado. Este último está associado aos sedimentos, como pode ser visto pelo gráfico da **Figura 7.1.9.2-29**, onde se observa que o perfil ferro total acompanha o de sólidos suspensos totais e o de ferro solúvel acompanha o de sólidos dissolvidos totais. Ao mesmo tempo pode-se observar que o aumento do ferro solúvel é acompanhado pela diminuição do ferro total, o mesmo acontecendo com os sólidos. Ou seja, a transformação de ferro III em ferro II, devida às condições



de oxi-redução do corpo d'água aumenta a concentração de ferro solúvel. Ao mesmo tempo esta concentração explica os altos valores de cor aparente, que não se refletem na turbidez.

Situação semelhante ocorre com o alumínio, também presente nos solos. Ao passo que o alumínio solúvel, que possui limite de 0,1 mg/L pela Resolução Conama 357/05, apresentou-se abaixo dos limites de detecção, o alumínio total teve aumento de concentração nos mesmos pontos em que isto se verificou para o ferro total.

Como todos os outros metais apresentaram-se abaixo dos limites de detecção do método de análise, pode-se concluir que há um processo erosivo no solo da bacia.

E- Outros parâmetros

Os óleos e graxas foram encontrados no ponto P05, podendo ter como origem o arrastamento destes compostos eventualmente depositados na estrada de acesso situada próxima ao local da coleta. Contudo, não foram detectados fenóis, o que indica ser este um evento esporádico.

Conclusão

Em relação à qualidade de água pode-se afirmar que existem na bacia processos erosivos que alteram a qualidade de água, principalmente em relação a alumínio, ferro e fósforo total.

• Usos da água

No ribeirão Santa Gertrudes os usos da água outorgados aparecem no **Quadro 7.1.9.2-8**, apresentado a seguir.

Quadro 7.1.9.2-8 Relação dos usos outorgados na bacia do córrego Santa Gertrudes

Nome do Rio	Usuário	Vazão (m ³ /h)	Hora/Dia	UTM-Norte (km)	UTM-Leste (km)	UTM-MC
SANTA GERTRUDES,COR	IRRIGANTE	31	8	7,512.80	243.71	45
SANTA GERTRUDES,COR	PUBLICO	180	24	7,514.88	240.64	45
FAZENDA ITAQUI,COR DA	AQUICULTOR	6	24	7,513.34	238.6	45
FAZENDA ITAQUI,COR DA	AQUICULTOR	10	24	7,513.32	238.65	45

Observa-se que, da mesma forma que na área de influência indireta, o principal uso nesta bacia é o abastecimento público, que capta cerca de 87% do total outorgado. É importante notar, que não há uso para mineração outorgado pelo DAEE.

7.1.10 Sedimentologia

Em função das precipitações e do solo exposto, pode-se observar que os processos de erosão superficial aumentam de forma significativa o teor de sólidos em suspensão no ribeirão Santa Gertrudes (como já observado em UNESP, 2006).



Observa-se, através da figura de uso e ocupação do solo, apresentada no item 7.3, que a bacia tem ocupação predominante de cana e mineração de argila. A captação de água superficial do município de Santa Gertrudes é interrompida em períodos coincidentes com maiores precipitações, conforme demonstrado no **Quadro 7.1.10-1** que ilustra a situação observada em 2005.

Quadro 7.1.10-1 Ocorrências de paralisação em virtude de aumento de turbidez

Períodos em que a qualidade da água para abastecimento de Santa Gertrudes ficou prejudicada									
Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
7-jan-2004	26	21-fev-2004	25,4	26-dez-2004	95,54	28-jan-2005	55,3	14-mar-2005	54,1
8-jan-2004	40,6	22-fev-2004	117	27-dez-2004	0	29-jan-2005	115,7	15-mar-2005	41,4
9-jan-2004	16,2	23-fev-2004	25,4	28-dez-2004	12,7	x	x	16-mar-2005	32,4
10-jan-2004	0	24-fev-2004	31,8	x	x	x	x	17-mar-2005	0
11-jan-2004	28	25-fev-2004	12,1	x	x	x	x	x	x
Total	110,8	Total	211,7	Total	108,24	Total	171	Total	127,9

Fonte: UNESP, 2006

A seguir faz-se uma revisão dos conceitos de erosão e transporte sólido, de modo a abordar o problema de produção e transporte de sedimentos gerados na bacia do ribeirão Santa Gertrudes. O objetivo principal é, em primeiro lugar, compreender de forma qualitativa e quantitativa a dinâmica de erosão e transporte sólido nas áreas de ocupação agrícola e na área de mineração para, num primeiro momento, avaliar os impactos destas atividades nos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

7.1.10.1 Processos erosivos

Partindo de dados gerais da bibliografia é possível ter uma avaliação preliminar sobre a intensidade de processos erosivos, tais como na que apresenta o exemplo da curva de Langbein e Schumm (1958) (**Figura 7.1.10.1-1**). Por esta curva a produção de sedimentos varia desde valores da ordem de 600 t/km².ano (\cong 1500 t/milhas².ano) para climas mais secos reduzindo-se até um mínimo de 200 t/km².ano (\cong 500 t/milhas².ano) para climas úmidos em regiões de florestas. Apesar de a erosão apresentar dependência com outros fatores, a área em estudo deve situar-se, em princípio, próxima a estes patamares de produção de sedimentos, podendo-se considerar numa primeira aproximação um valor da ordem de 400 t/km².ano.

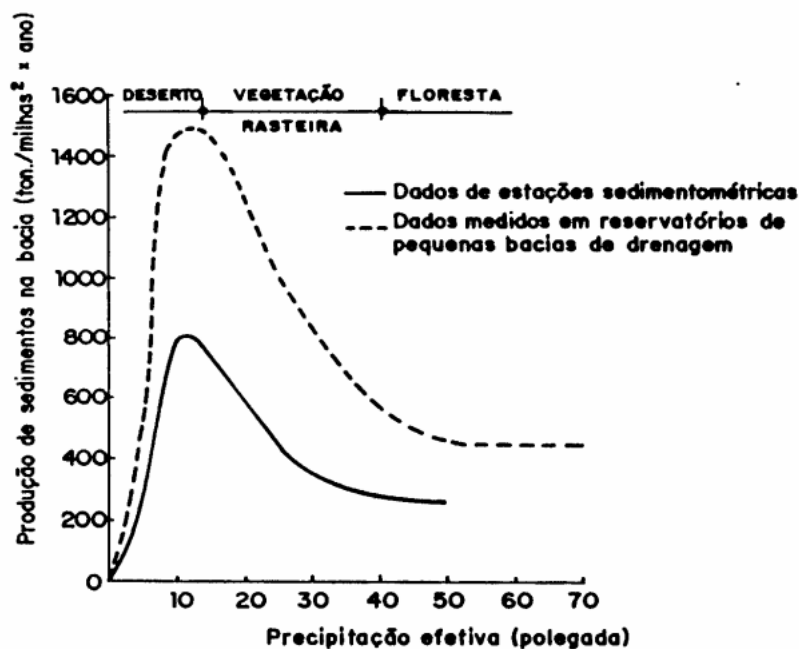


Figura 7.1.10.1-1- Curva de Langbein e Schumm (extraído de Vanoni - 1977)

Através da curva de Flemming (1969), considerando-se as dimensões das bacias de contribuição, variando entre 1.000 km² e 15.000 km² (\cong 370 a 5500 milhas²) resulta num aporte da ordem de 110 t/km².ano (\cong 300 t/milhas².ano). Grande parte dos dados de Flemming (Figura 7.1.10.1-2) referem-se a bacias de grande porte (Vanoni 1977).

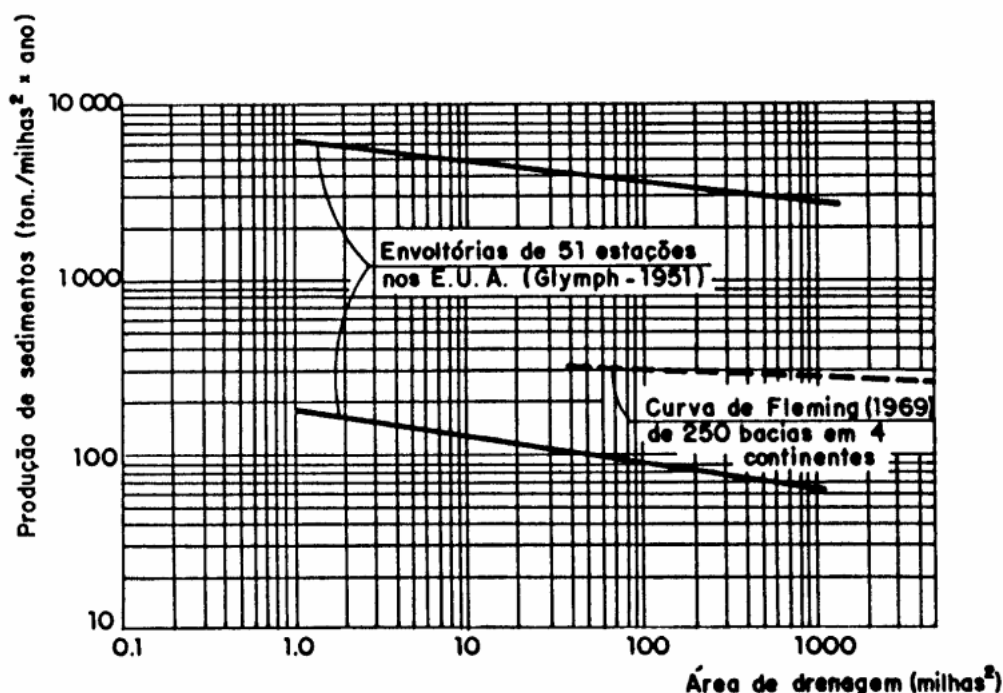
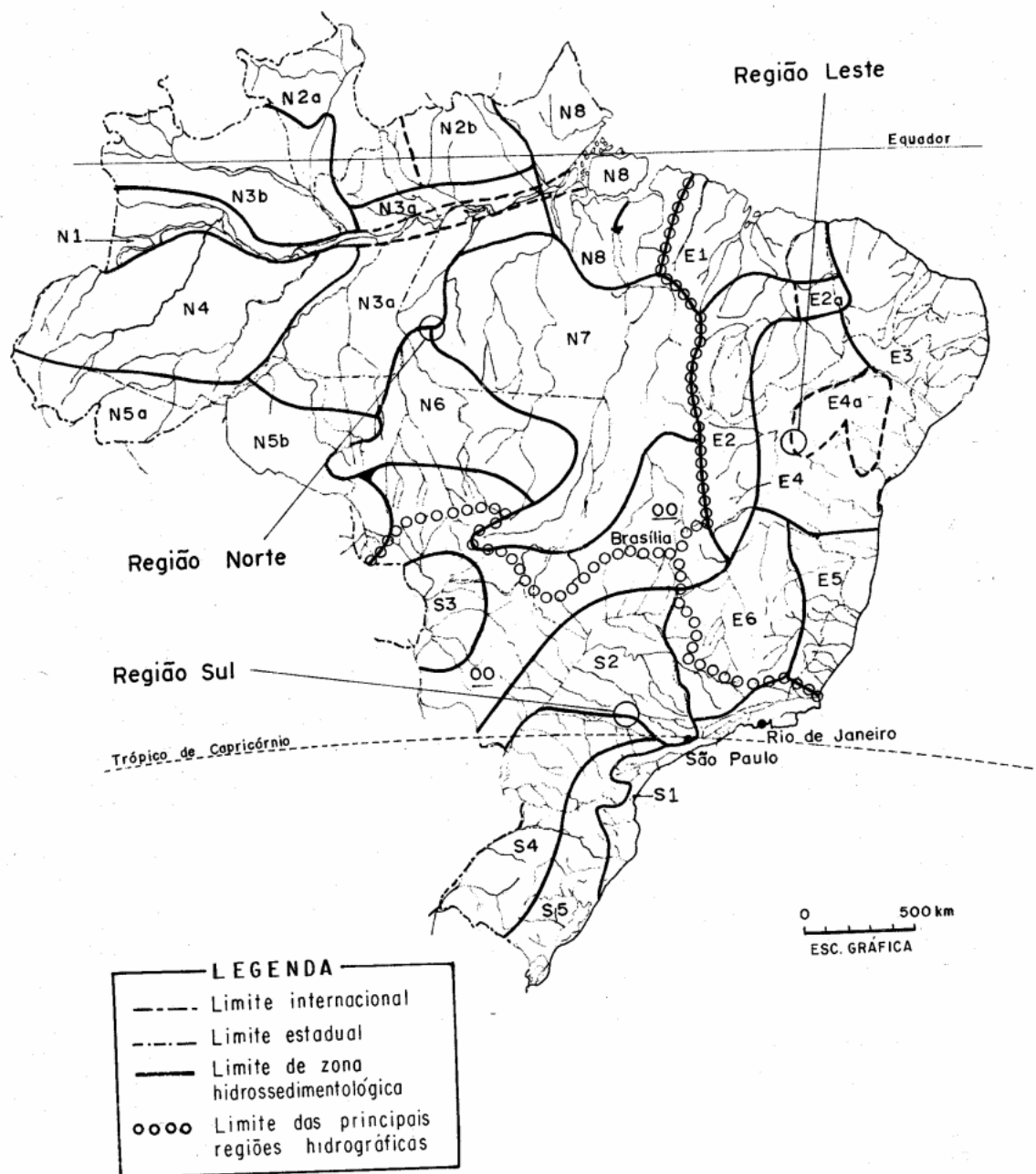


Figura 7.1.10.1-2- Aporte sólido em função da dimensão da bacia (Vanoni, 1977)

O IPH / UFRGS elaborou para a Eletrobrás uma regionalização para efeito de zoneamento hidrossedimentológico (apud Carvalho, 1994 – ver **Figura 7.1.10.1-3** a seguir). A bacia de Santa Gertrudes encontra-se na zona S2, segundo a regionalização feita nesse trabalho, com índice de erosividade (R) (ver definição mais adiante neste relatório). A regionalização efetuada pela UFRGS (apud Carvalho 1994), obtida a partir de dados de medições de concentrações em rios e outras informações relevantes, indica para esta área uma produção específica de sedimentos (já medido na calha do rio) variando entre 25 e 50 t/km².ano, valores estes para bacias com área entre 2.500 e 30.000 km². Para micro bacias como a que se está estudando é necessário fazer a correção da taxa de liberação.

Como estes valores resultam de medições de transporte de sedimentos em suspensão, depreende-se que não correspondem à taxa efetiva de erosão na bacia, mas aos valores efetivamente liberados. Deste diagnóstico elaborado (região S2: índice de erosividade (R) da ordem de 750) resultaram concentrações médias da ordem de 165 mg/l, com produção específica da ordem de 45 t/km².ano.



**Figura 7.1.10.1-3 – Mapa do zoneamento hidrossedimentológico do Brasil
(apud Carvalho, 1994)**



O gráfico da **Figura 7.1.10.1-4** (apud Vanoni, 1977) mostra que a taxa de liberação de sedimentos, para micro bacias com cerca de 4 mi², ou pouco superior a 10 km² (ordem de grandeza da bacia do Santa Gertrudes), situa-se da ordem de 25% (o percentual que efetivamente atinge o curso d'água). Como a própria figura demonstra, há uma grande dispersão dos dados que é explicada pela melhor ou pior drenagem da bacia.

Os dados do IPH / UFRGS devem ser corrigidos para a aplicação à bacia do Santa Gertrudes, pois trata-se de micro bacia com área muito inferior aos da regionalização. Fazendo-se esta correção entre a taxa de liberação para a bacia do Santa Gertrudes (da ordem de 25%) e as bacias da regionalização, com taxas da ordem de 1% a 2%, resultam contribuições variando entre 337 e 675 t/km².ano, com uma média geométrica de 477 t/km².ano.

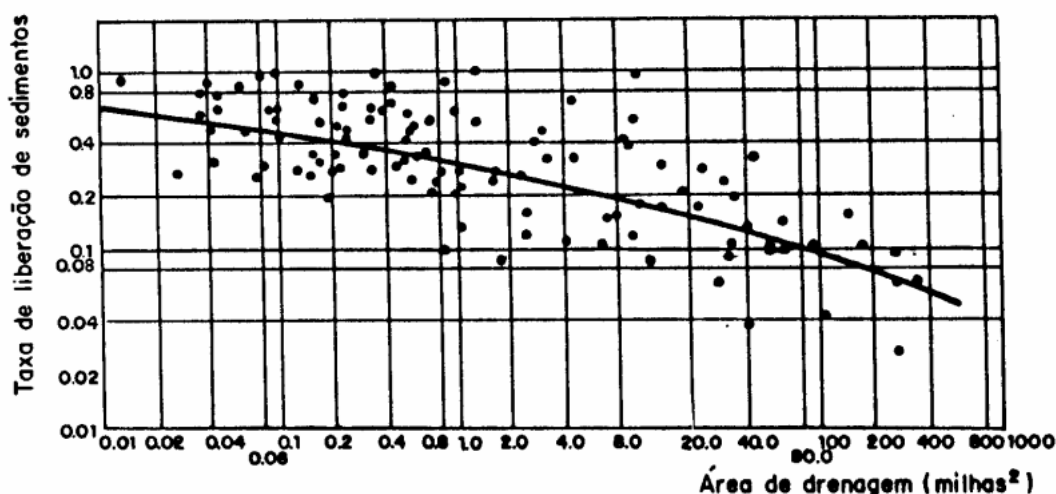


Figura 7.1.10.1-4 - Taxa de liberação de sedimentos (Vanoni 1977)

Estudos realizados pelo IAC (Bertoni e Lombardi – 1990), que compararam as taxas de produção de sedimentos para diferentes tipos de cobertura no Estado de São Paulo, mostraram os resultados indicados no **Quadro 7.1.10.1-1**.

Quadro 7.1.10.1-1 - Efeito do uso do solo sobre as perdas por erosão (média ponderada para três tipos de solo no Estado de São Paulo - Bertoni e Lombardi, 1990)

Tipo de uso	Produção (t/km ² .ano)
Mata	0,4
Pastagem	40,0



Tipo de uso	Produção (t/km ² .ano)
Cafezal	90,0
Algodoeiro	2660,0

Os mesmos autores apresentam o efeito da densidade de cobertura em diferentes culturas anuais (**Quadro 7.1.10.1-2**), de onde foi possível criar quatro grupos em graus crescentes de proteção oferecida contra erosão. Segundo este critério tem-se um primeiro grupo de menor proteção constituído por culturas tais como a mamona, feijão, e mandioca, seguindo-se um segundo grupo formado por amendoim, arroz e algodão, um terceiro formado por soja e batatinha e um quarto grupo que oferece melhor proteção, formado por milho, feijão, batata doce e cana-de-açúcar. Portanto, segundo este critério, a cultura existente no entorno da área de mineração é considerada como uma das culturas que mais protegem o solo de processos erosivos.

Quadro 7.1.10.1-2 – Efeito do tipo de cultura anual sobre as perdas por erosão - Bertoni e Lombardi (1990).

Tipo de cultura anual	Produção (t/km ² .ano)
Mamona	4150,0
Feijão	3810,0
Mandioca	3390,0
Amendoim	2670,0
Arroz	2510,0
Algodão	2480,0
Soja	2010,0
Batatinha	1840,0
Cana de açúcar	1240,0
Milho	1200,0
Milho + Feijão	1010,0
Batata doce	660,0

- **Erosão em áreas minerárias**

Considerando-se que parte da área objeto de estudo do presente trabalho, já foi minerada e encontra-se atualmente com atividades paralisadas, para o diagnóstico de produção de sedimentos atualmente da área, cabem algumas considerações sobre os processos erosivos em áreas minerárias.

São extremamente exíguos os dados referentes às taxas de produção de sedimentos em áreas de erosão intensa e localizada, como é o caso de áreas de mineração. Erosões em áreas como essas se assemelham bastante a processos



erosivos de erosões urbanas em fase de desenvolvimento. Este fato se deve não somente à complexidade do fenômeno em si, a exemplo do que ocorre em áreas rurais, mas também à rápida variação da exposição do solo que está sendo lavrado.

Exemplos de deficiências deste tipo de informação são apontados nos estudos realizados por Dawdy (1967), mais centrado num problema assemelhado que é o da produção de sedimentos em bacias urbanas. Um estudo realizado numa área dos subúrbios de Maryland (EUA) (apud – Vanoni 1977) indica o caráter transitório da produção de sedimentos. A taxa máxima de transporte sólido durante os eventos chuvosos mais importantes, na condição mais crítica de urbanização correspondia a cerca de 50 vezes o transporte sólido para as condições originais da bacia. Este máximo ocorreu por volta do ano de 1959 e a partir desta época as taxas declinaram até retomar valores próximos aos naturais, por volta de 1962. Foi estimada uma taxa de contribuição de sedimentos média durante este período (da ordem de 3 anos) de cerca de 467 t/ha. Ainda nestes estudos se apresentam confrontações da produção de sedimentos em áreas urbanas e rurais, transcritas no **Quadro 7.1.10.1-3**.

Pode-se ver facilmente, a disparidade na produção de sedimentos nas áreas rurais e urbanas. Em termos médios, o incremento da produção de sedimentos por erosão urbana chega a ser da ordem de 85 vezes os valores da erosão rural. Esta tabela apresenta um único caso de estudo de mineração, que no caso não foi substancialmente superior aos valores de erosões rurais (de um mínimo de 1,3 a um máximo de 6 vezes).



Quadro 7.1.10.1-3 Confrontação de valores de produção de sedimentos e áreas rurais, urbanas e uma mineração (Dawdy - 1967)

Rio e localização	Área (milhas ²)	Produção (t/mil ² .ano)	Ocupação
Watts Branch, Rock., Md	3,7	516	rural
Seneca Creek, Daw., Md	101	320	rural
Anacostia River, Col, Md	21,3	470	rural
Gunpowder, Towson, Md	300	808	rural 1914-1943
	300	233	rural 1943-1961
Gunpowder Falls, H., Md	80	913	rural 1933-1943
	80	500	rural 1943-1961
Monocacy River, Fr., Md	817	327	rural
George Cr., Franklin, Md	72,4	207	rural, florestada
Conococheaque Cr., Md	494	217	rural
Helton Branch, Ky	0,85	15	florestada
Oregon Run, Cock., Md	0,236	72000	industrial
Johns Hopkins Univ, Md	0,0025	140000	em construção
Minebank Run, Tow, Md	0,031	80000	comercial
Kensington, Md	0,032	121000	lot. residencial
L.Barcroft, Fairfax, Va.	9,5	25000	lot. residencial
Greenbelt Res., Md.	0,83	5600	residencial
Anacostia Riv, Hy., Md	49,4	1200	urbano/ desenv.
Anacostia Riv, Riv, Md	72,8	1000	urbano/ desenv.
Cane Branch, Som, Ky	0,67	1147	mina superficial
Rock Creek, S. D, W.DC	62,2	1600	urbano/ desenv.
Little Falls Br ,Bet,Md	4,1	2320	urbano/ desenv.
Gwynns Falls, Md	0,094	11300	residencial

Se dentro de um panorama internacional as informações sedimentométricas de erosões localizadas são bastante restritas, em termos nacionais este tipo de informação praticamente inexistente. De maneira geral as informações disponíveis limitam-se a estudos de uns poucos casos isolados, sendo que a maior parte refere-se a processos de erosões lineares. Apenas, a título de exemplo, pode-se citar um caso ocorrido na cidade de Bauru, no Estado de São Paulo que, num único período chuvoso em 1993, a progressão de uma voçoroca atingiu uma extensão de 800 m, largura média de 25 m e profundidade média de 18 m.

Um segundo exemplo que traz interesse ao estudo em questão é o da erosão da Região Metropolitana de São Paulo – R.M.S.P. Neste exemplo o Rio Tietê é o principal curso d'água que drena esta região e tem seu leito constantemente assoreado pela contribuição sólida proveniente da bacia. A quase totalidade do aporte sólido ocorre em poucos eventos, fato este comum a rios da dimensão dos tributários. Estudos efetuados em afluentes demonstraram um resultado clássico em



processos erosivos de pequenas bacias com aportes superiores à 80% em 4% do tempo. A taxa de contribuição na bacia da R.M.S.P. na época do estudo (1992) era da ordem de 10.000 m³/km²ano em termos de volume de assoreamento (ou cerca de 14.600 t/km²ano), sendo que deste total cerca de 17% é constituída por areia média, material efetivamente passível de assoreamento no curso d'água, e o restante encontra-se na faixa dos siltes com pequena parcela de argilas, constituindo o total da carga de lavagem. Convém lembrar que a produção de 14.600 t/km²ano é o valor que efetivamente chega à rede de drenagem, resultando assim uma contribuição cerca de 150 vezes superior aos valores de regionalização para áreas rurais (valores IPH – apud Carvalho – 1994).

A semelhança no processo com uma área de mineração está no fato de que a erosão não ocorre somente no solo superficial, mas nos substratos devido às escavações realizadas em áreas urbanas para a regularização do terreno e em áreas de mineração pela atividade de lavra. Nessas escavações o solo fica mais desagregado e o substrato exposto pode ser mais frágil às ações erosivas do escoamento superficial.

- **Fatores que afetam a erosão na área em estudo**

Para analisar os fatores que afetam a erosão da bacia do ribeirão Santa Gertrudes, convém fazer uma abordagem conceitual sobre a erosão laminar, que traz particular interesse ao caso em estudo. Para isto convém analisar a Equação Universal de Perda de Solo – E.U.P.S. de Wischmeyer-Smith (apud – Vanoni, 1977) desenvolvida para pequenas bacias rurais. Apesar das restrições da fórmula devido ao seu caráter empírico, ela ajuda na compreensão do processo de erosão laminar e na análise dos efeitos em diferentes ações sobre o meio.

$$E = R.K.L.S.C.P$$

onde: R – é o fator de erosividade da chuva;

K – é o fator de erodibilidade do solo;

L – é o fator de comprimento de rampa;

S – é o fator de declividade;

C – é o fator de manejo agrícola;

P – é o fator de prática conservacionista;

Destes seis fatores o único que independe do uso do solo é o fator de erosividade da chuva (R). A E.U.P.S. foi desenvolvida para avaliar a erosão do solo superficial e, portanto, não seria válida para a avaliação do substrato que é a região atingida pela extração mineral. Apenas para efeito de análise comparativa iremos considerar que



o meio seja homogêneo em profundidade e que as características do solo permaneçam constantes em termos do fator de erodibilidade (K).

Embora o fator comprimento de rampa (L) e declividade (S) possam ser naturais, é comum poderem sofrer alguma interferência pela atenuação de declividades ou imposição de barreiras (diques, valas de infiltração, etc) e os últimos fatores, manejo agrícola (C) e práticas conservacionistas (P) são considerados fatores puramente antrópicos.

- **Transporte sólido em suspensão**

Os sedimentos gerados na bacia do ribeirão Santa Gertrudes são em sua quase totalidade constituídos por sedimentos na faixa dos siltes e argilas, que são transportados em suspensão pela corrente líquida. As areias que em grande parte respondem pelo transporte de fundo não têm presença significativa.

Há duas modalidades de transporte sólido em suspensão, uma correspondente à carga de lavagem da bacia e outra correspondente ao transporte dos materiais que compõem o leito.

No caso da carga de lavagem, o material em geral é muito fino, com dimensões na faixa do silte ou argila, e se mantém quase que permanentemente em suspensão, não chegando a se depositar. A fração mais graúda da carga de lavagem, ao adentrar num reservatório ou numa bacia de retenção pode chegar a se depositar, dependendo do tempo de residência ou de outros fatores de natureza físico-químico que possam favorecer a floculação e conseqüentemente a decantação. Já a fração mais fina pode manter-se em suspensão por um tempo mais longo. Em casos de pequenas bacias de retenção podem atravessar os limites do barramento e não chegar a depositar no fundo.

Os sedimentos em suspensão provenientes do leito do rio costumam ser mais graúdos, na faixa das areias. Para que as areias se mantenham em suspensão é necessário que haja um nível bem mais elevado de turbulência do escoamento, quando comparadas à carga de lavagem. Por esta razão, ao adentrarem num reservatório, as areias depositam-se mais rapidamente que o material da carga de lavagem, formando deltas nos trechos de mudança do regime fluvial para lacustre.

Há uma diferença substancial de comportamento entre esses dois tipos de materiais. Os sedimentos mais graúdos, com dimensões superiores ao limite entre as areias e siltes ($d = 0,062 \text{ mm}$) movimentam-se individualmente sob as ações hidrodinâmicas do escoamento e do peso próprio. Já os sedimentos mais finos, com dimensões abaixo deste limite, apresentam efeitos de coesão de natureza eletroquímica e os seus movimentos não são individualizados, mas em agrupamentos em forma de flocos, agregados e rede de agregados, o que torna o seu tratamento analítico bastante complexo.



Para o caso dos sedimentos granulares sem coesão, a distribuição dos sedimentos em suspensão é dada pela equação de O'Brien:

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-y}{y} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^z$$

onde:

C e C_a.....concentrações a uma distância “y” e “a” (distancia de referência) do leito;

h.....profundidade local;

z..... parâmetro de Rouse, definido por:

$$z = \frac{\omega_o}{\chi \cdot v_*}$$

ω_o é a velocidade de queda do sedimento;

χ é a constante de Von Karmann (= 0,4);

v_* é a velocidade de atrito;

O parâmetro de Rouse (Z) é um indicativo importante, pois valores elevados de Z indicam a presença de sedimentos graúdos em suspensão (ω_o elevado) ou que o nível de turbulência é baixo (v_* pequeno), como é o caso de escoamentos que entram em reservatórios. Neste caso os sedimentos concentram-se mais próximos ao leito, não tendo condições de atingir alturas elevadas na coluna líquida, tendendo a se depositar mais rapidamente. Por esta razão, em situações como esta, somente sedimentos muito finos é que conseguem ultrapassar os limites dos reservatórios. O raciocínio inverso também pode ser feito, de forma que partículas finas (siltes e argilas) ou situações de alto nível de turbulência (rios de grande declividade) apresentam uma distribuição de concentração de sedimentos em suspensão mais uniformemente distribuída na coluna líquida. Isto faz com que os sedimentos muito finos, em reservatórios com baixo período de residência ultrapassem os limites do reservatório. A **Figura 7.1.10.1-5** apresenta a distribuição de concentrações em função de Z (parâmetro de Rouse), ilustrando melhor estes conceitos.

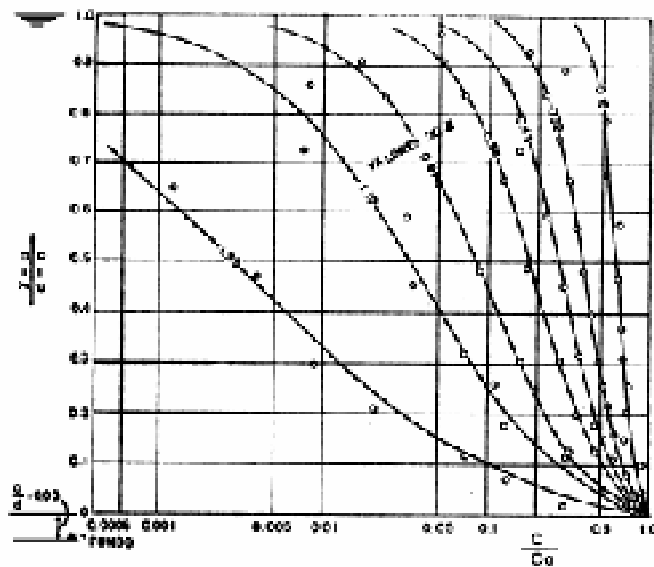


Figura 7.1.10.1-5 – Distribuição de Concentrações ao longo da vertical (Vanoni-1977).



- **Condição de deposição**

A condição crítica de sustentação de uma partícula sólida em suspensão decorre de um equilíbrio entre a resultante devido à turbulência que produz o movimento ascensional e o peso submerso do sedimento que produz o movimento em sentido contrário. Um critério que utiliza esse princípio na definição da condição crítica foi apresentado por Bagnold (Van Rijn – 1984). Esta situação ocorre quando:

$$\frac{v_*}{\omega_o} = 1$$

Um outro critério foi apresentado, posteriormente por Van Rijn (1984), fazendo considerações semelhantes:

$$\frac{v_*}{\omega_o} = \frac{4}{D^*} \quad \text{para } 1 < D^* < 10$$
$$\frac{v_*}{\omega_o} = 0,4 \quad \text{para } 10 < D^*$$

em que D^* é um parâmetro adimensional denominado de Diâmetro Sedimentológico, que para as condições usuais pode ser calculado por:

$$D^* = 25.287 \cdot d$$

onde d é o diâmetro do sedimento (em m, S.I.).

A velocidade de queda das partículas finas, até 100 μm , é calculada pela lei de Stokes, que para as condições usuais é dada por:

$$\omega_o = 898.333 \cdot d^2$$

A determinação da velocidade de atrito, característica hidrodinâmica constante nas equações anteriores, pode ser determinada através do levantamento da declividade da linha d'água e geometria de seções, a partir da equação:



$$\tau_o = \rho \cdot v_*^2 = \gamma \cdot R_h S_f$$

onde γ é o peso específico da água, R_h o raio hidráulico e S_f representa a declividade da linha de energia.

• Estudos anteriores

O estudo UNESP (2006) fez um levantamento dos vários trabalhos realizados anteriormente sobre o assunto. Vários pontos importantes do histórico e da situação atual podem ser resumidos da seguinte forma:

a) o DAEE/BMT, através do ofício BMT/373/2003, apresentou laudo solicitando estudos para avaliação da potencialidade hídrica da microbacia. A empresa HG – Geologia e Meio Ambiente – concluiu em 27/01/2004 esses estudos, mostrando que as atividades minerárias não interferiam nos recursos hídricos da microbacia;

b) por solicitação da CETESB, o DAEE elaborou parecer complementar sobre os estudos da HG concluindo que, apesar de pouco significativas, as interferências hídricas na área deveriam ser objeto de avaliação mais detalhada;

c) o DEPRN, por sua vez, condicionou (ofício ETRC 023/04, de 14/5/04) a renovação da licença de operação aos resultados de estudos hidrológicos e hidrogeológicos;

d) o laudo dos consultores Hildebrando Hermann e Ivanir B. Mariano (junho de 2004) aponta que o impacto sobre os recursos hídricos superficiais na bacia é função da vazão específica do fluxo de base, usando como referência o valor de $Q_{7,10}$ (vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno);

e) o LEBAC / UNESP elaborou, em agosto de 2004, parecer preliminar com considerações sobre a situação, que levaram o DAIA a exigir das empresas mineradoras a elaboração de estudos hidrológicos e hidrogeológicos;

f) o LEBAC / UNESP concluiu, em janeiro de 2006, estudo hidrogeológico e hidrológico que incluiu o monitoramento de cerca de 30 pontos de águas subterrâneas, águas superficiais e análises físico-químicas na microbacia, em que se ressaltam os seguintes pontos:

- o capeamento de solo da Formação Corumbataí é do tipo argilo-siltoso, com espessura variando de 2 a 7 m e média de ~4 m, com baixa condutividade em razão de seu elevado teor de argila (**Figura 7.1.10.1-6**);

- foram apresentados os resultados dos ensaios granulométricos, realizados em 9 amostras de solo (**Quadro 7.1.10.1-4**). Pela classificação da ABNT, o tipo litológico argila é predominante com variações para siltosa e silto-arenosa. Secundariamente aparece o tipo areia com variações para silto-argilosa e argilo-siltosa, comprovando a origem dos sedimentos da Formação Corumbataí.



Em termos granulométricos, de interesse especial para esta abordagem, o solo mostra predomínio das frações argila e silte.

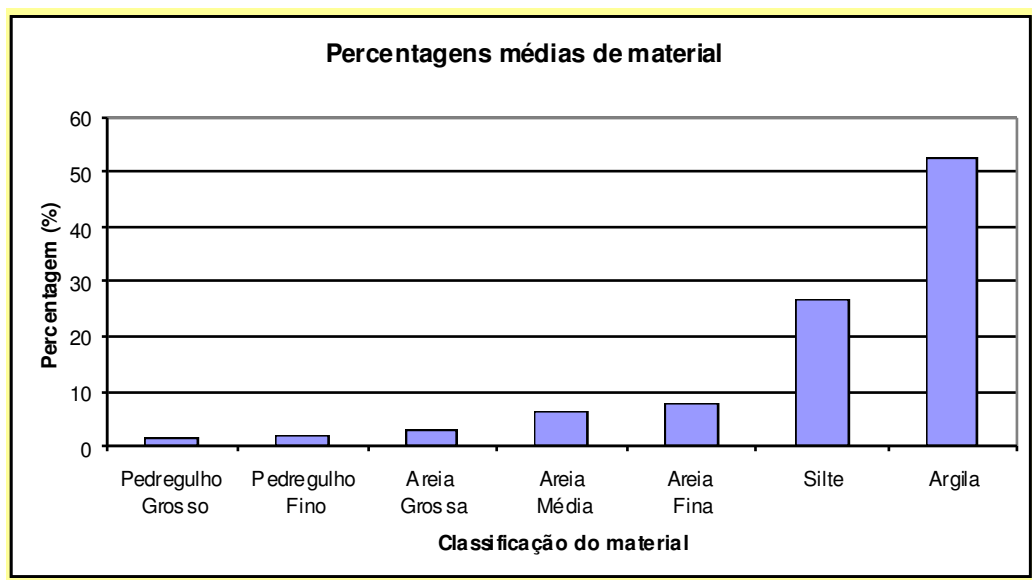


Figura 7.1.10.1-6– Porcentagens médias de material analisado em ensaios granulométricos (UNESP,2006)



Quadro 7.1.10.1-4– Resultados das análises granulométricas dos pontos amostrados (UNESP,2006)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA									
Classificação	Pedregulho Grosso (%)	Pedregulho Fino (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Massa específica dos sólidos (g/cm³)	Classificação ABNT
Intervalo da peneira (mm)	> 4,8	4,8 - 2	2 - 0,6	0,6 - 0,2	0,2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002		
Amostra									
SG-01	0,0	0,1	1,3	7,6	10,0	19,0	62,0	2,735	Argila silto-arenosa
SG-02	0,0	8,2	12,2	10,7	14,0	33,0	22,0	2,705	Areia silto-argilosa
SG-03	0,0	0,4	0,9	0,6	3,0	22,0	73,0	2,697	Argila silto-arenosa
SG-04	0,0	0,2	1,0	0,3	6,5	16,0	76,0	2,712	Argila silto-arenosa
SG-05	10,3	4,5	4,6	3,6	7,0	31,0	39,0	2,727	Argila silto-arenosa
SG-06	0,0	0,1	1,0	8,9	8,0	27,0	55,0	2,680	Argila silto-arenosa
SG-07	1,5	1,7	2,1	2,7	2,0	21,0	69,0	2,742	Argila silto-arenosa
SG-08	0,4	1,0	2,3	23,3	14,0	27,0	32,0	2,700	Areia argilo-silto-arenosa
SG-09	0,1	0,7	0,7	0,5	7,0	44,0	47,0	2,708	Argila silto-arenosa
Média Aritmética	1,4	1,9	2,9	6,5	7,9	26,7	52,8	2,712	

- A quantidade de água acumulada na zona saturada de aquíferos freáticos e que pode ser liberada por drenagem gravitacional do solo é expressa pela contribuição específica ou porosidade eficaz, definida como a relação entre a variação do volume de água passível de liberação e a variação do volume total do solo saturado. O rápido enchimento e esvaziamento do solo, como mostrado nos gráficos (UNESP, 2006), sugerem reservatório limitado, com porosidade eficaz baixa;
- Com relação ao transporte de sólidos em suspensão (STS), os teores medidos em 2005 variaram de 3 mg/litro (Estação Diabásio) a 1048 mg/litro (Estação Pau D'Alho ou Tubulão), ao longo do período monitorado, observando-se tendência normal de aumento de sólidos nos meses mais chuvosos (Figura 7.1.10.1-7);

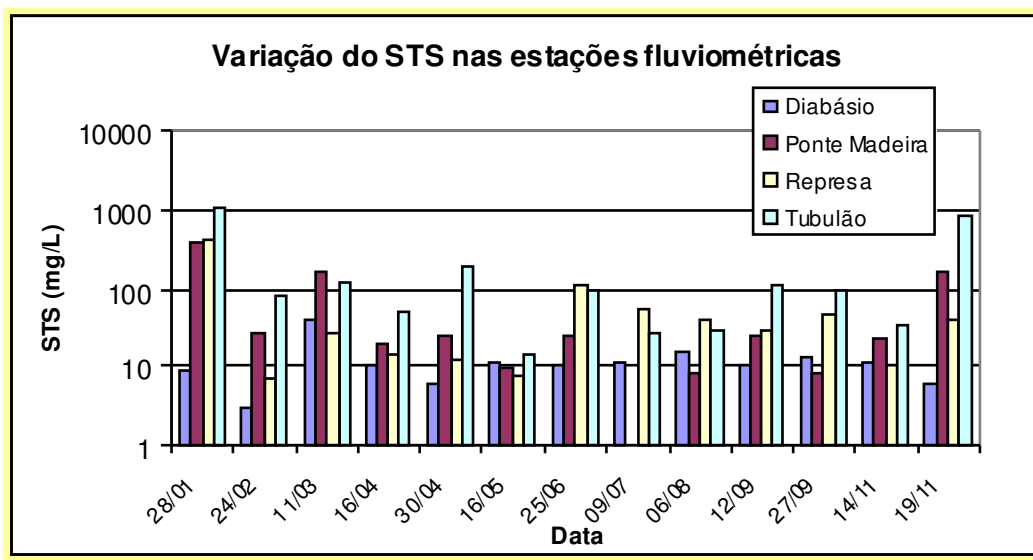


Figura 7.1.10.1-7– Variação dos sólidos totais em suspensão em 2005 (UNESP, 2006)

- A estação fluviométrica Diabásio, situada em área de cana com APP na região nordeste da microbacia, apresentou durante o período de monitoramento de 2005, vazão de base na estiagem superior à observada na estação fluviométrica da área minerada Pau D'Alho (Tubulão), sendo que esta chegou a apresentar (**Figura 7.1.10.1-8**) vazão de base nula na estiagem (evidenciando a falta de armazenamento de água no solo).

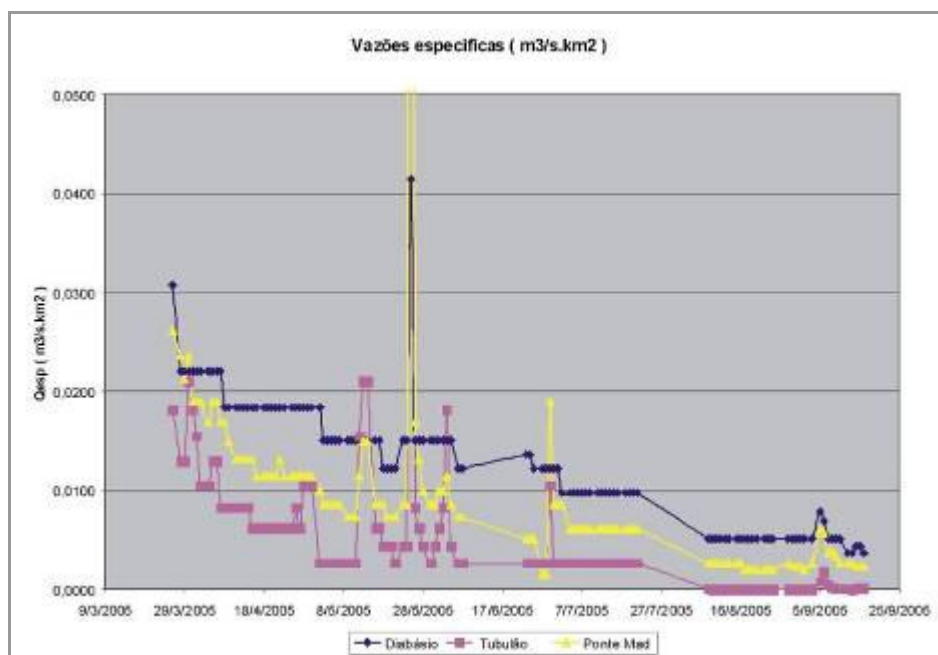


Figura 7.1.10.1-8– Variação das contribuições específicas nas bacias estudadas, no período recessivo 2005 (UNESP, 2006)

• Conclusões

- O dano da quantidade, ou perda hídrica, pode representar um prejuízo permanente, se não for controlado ou mitigado, em decorrência da eliminação do solo que regula o volume transiente de água, responsável pela sustentação do escoamento de base das microbacias. As perdas hídricas atuais podem ser consideradas pequenas, tanto em valores absolutos ($22 \text{ m}^3/\text{h}$), como em relação ao valor conservador de $Q_{7,10}$ ($187 \text{ m}^3/\text{h}$ - Parecer FUNDUNESP, 2004) aplicado a toda a Bacia do ribeirão Santa Gertrudes.
- O dano de qualidade das águas superficiais, caracterizado pela turbidez e excesso de sólidos em suspensão, representa um prejuízo temporário que se manifesta ocasionalmente e é fruto das intensas precipitações ocorridas na área, principalmente após períodos longos de estiagem. Este tipo de dano é o mais sentido pelo setor de tratamento e abastecimento de água da Prefeitura Municipal de Santa Gertrudes, pois pode causar grande inconveniente e mesmo comprometimento do fornecimento de água à população. As atividades de mineração produzem grande quantidade de material argiloso que, se carregado pelas águas pluviais, eleva a turbidez dos córregos constituintes das microbacias locais. Há de se destacar, a contribuição das áreas agricultáveis na elevação da turbidez.

7.1.10.2 Estudos de hidrossedimentometria de campo

O monitoramento de sedimentos foi implantado nas estações fluviométricas F1 Diabásio (cana), F2 Pau D'Alho (mineração) e F3 Cana (cana), de modo a se obter dados de concentração e vazão, necessários à obtenção da carga de sedimentos erodidos transportados em cada uma das bacias.

Este monitoramento foi feito com o uso de garrafas de espera, baseadas no uso de medidores modelo US-U-59 (**Figura 7.1.10.2-1**), citados em Carvalho, 1994.

O funcionamento das garrafas é simples: elas são posicionadas em alturas variadas junto ao posto fluviométrico e têm suas cotas relacionadas aos níveis d'água de referência.

O medidor possui dois tubos, sendo que um deles permite a entrada da água que transporta em suspensão os sedimentos erodidos na bacia e o outro permite a saída do ar existente na garrafa.

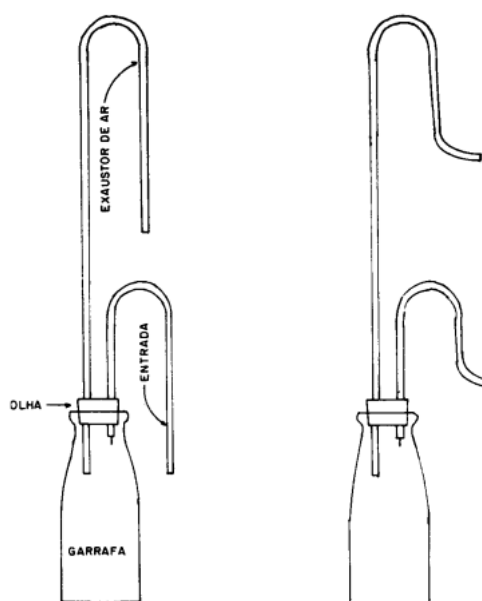


Figura 7.1.10.2-1 Garrafas de espera modelo US-U-59



A seguir as fotos de 7.1.10.2 – 1 a Foto 7.1.10.2 – 3, apresentam os pontos monitorados.



Foto 7.1.10.2 - 1: F1 Diabásio



Foto 7.1.10.2 - 2: F2 Pau D'Alho



Foto 7.1.10.2 - 3: F3 Cana



A CETESB monitora o ribeirão Santa Gertrudes em dois pontos não coincidentes com os pontos mostrados anteriormente. Por este motivo não puderam ser utilizados. Estes dados são apresentados no **Quadro 7.1.10.2-1**, que como será visto adiante, confirmam concentrações da mesma ordem de grandeza dos valores obtidos durante o monitoramento sedimentométrico da bacia.

Quadro 7.1.10.2-1 – Monitoramento CETESB 2003 a 2005

Análises de amostras de águas superficiais realizadas pela CETESB								
Data	GERT 02200 - MONTANTE				GERT 02100 - JUSANTE			
	Ph	Turbidez UNT	STD mg/L	ST mg/L	Ph	Turbidez UNT	STD mg/L	ST mg/L
01/01/2003	6,7	42	73,9	80,5	6,6	117	144	173
12/03/2003	6,9	15	57,6	67,6	6,9	150	140	249
06/05/2003	6,8	44	44,6	51,2	6,3	16	319	524
02/07/2003	6,9	13	67,2	71,2	6,7	19	65,8	78,2
22/09/2003	6,8	7	47,3	50,5	6,9	34	77,6	94,5
04/11/2003	7,0	5,6	59,3	60	6,8	248	293	373
30/01/2004	6,7	29,9	73,9	78,8	6,6	78	106	119
25/03/2004	6,9	9,2	49,2	52,4	6,9	33	61,6	73,7
11/05/2004	6,9	13	49,6	52,7	6,9	26	61,7	72,2
28/07/2004	6,9	6	52,6	53,7	6,8	20	56,4	64,8
29/09/2004	?	5,7	56,7	59,5	?	24	62,6	72,8
29/11/2004	6,8	12	63,8	69,9	6,7	150	1263	1678
24/01/2005	6,9	130	91,6	109	6,8	215	168	204
mar/2005	7	15	60,1	64,2	6,8	42	80,4	105
mai/2005	7	9,3	56,2	58,3	6,7	40	68,2	92,4
jul/2005	6,8	16	51	57,5	6,6	18	57,6	66,2

GERT 02200 - Córrego Santa Gertrudes, Fazenda Boa Vista
GERT 02100 - Córrego Santa Gertrudes, ponte de acesso à Fazenda Goiapá

O Relatório UNESP 2006 apresenta os dados do monitoramento de sólidos totais em suspensão (STS) efetuado em 2005 (**Figura 7.1.10.2 - 2**), cujos valores são similares aos obtidos em 2007. Nesse trabalho, a bacia da Cana não foi monitorada, pois ainda não estava implantada a estação F3.

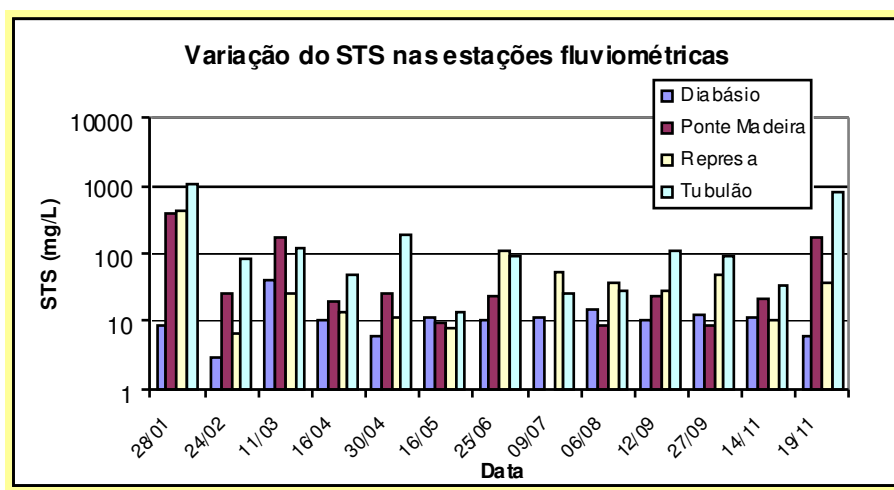


Figura 7.1.10.2 - 2 Variação do STS nas estações fluviométricas (UNESP,2006)

O monitoramento de 2007, que foi feito por eventos, ao passo que o de 2005 teve periodicidade mensal. Os resultados obtidos em 2007 podem ser vistos no **Quadro 7.1.10.2-2** a seguir e visualizados, a título de comparação, na **Figura 7.1.10.2 - 3**. Deve-se observar que as atividades de mineração encontravam-se paralisadas durante o período de monitoramento.

Quadro 7.1.10.2-2 Sedimentos em suspensão - monitoramento 2007

posto	F3 CANA		F2 PAU D'ALHO		F1 DIABÁSIO	
	cota	conc.	cota	conc.	cota	conc.
	garrafa	(mg / l)	garrafa	(mg / l)	garrafa	(mg / l)
data	(m)	(mg / l)	(m)	(mg / l)	(m)	(mg / l)
27/12/2006	0,30	276	0,30	181	-	-
4/1/2007	0,30	200	-	-	0,30	191
5/1/2007	0,30	326	0,30	28	0,30	261
	0,60	923	0,60	307	-	-
8/1/2007	0,30	258	0,30	113	0,30	194
	0,60	116	0,60	197	-	-
19/1/2007	0,30	255	0,30	119	0,30	554
19/1/2007	0,60	831	0,60	190	0,60	378
22/1/2007	0,30	237	0,30	quebrou	0,30	174
22/1/2007	0,60	2.924	0,60	358	0,60	487
	0,90	-	0,90	385	-	-
26/1/2007	0,30	57	-	-	-	-
27/1/2007	0,30	58	0,30	79	-	-
29/1/2007	-	-	0,30	60	-	-
6/2/2007	0,30	237	0,30	116	0,30	509
9/2/2007	0,30	560	0,30	87	0,30	521



posto	F3 CANA		F2 PAU D'ALHO		F1 DIABÁSIO	
data	cota garrafa	conc.	cota garrafa	conc.	cota garrafa	conc.
	(m)	(mg / l)	(m)	(mg / l)	(m)	(mg / l)
9/2/2007	0,60	5.907	0,60	284	0,60	103
9/2/2007	0,90	5.200	0,90	174	0,90	812
10/2/2007	-	-	0,30	59	-	-

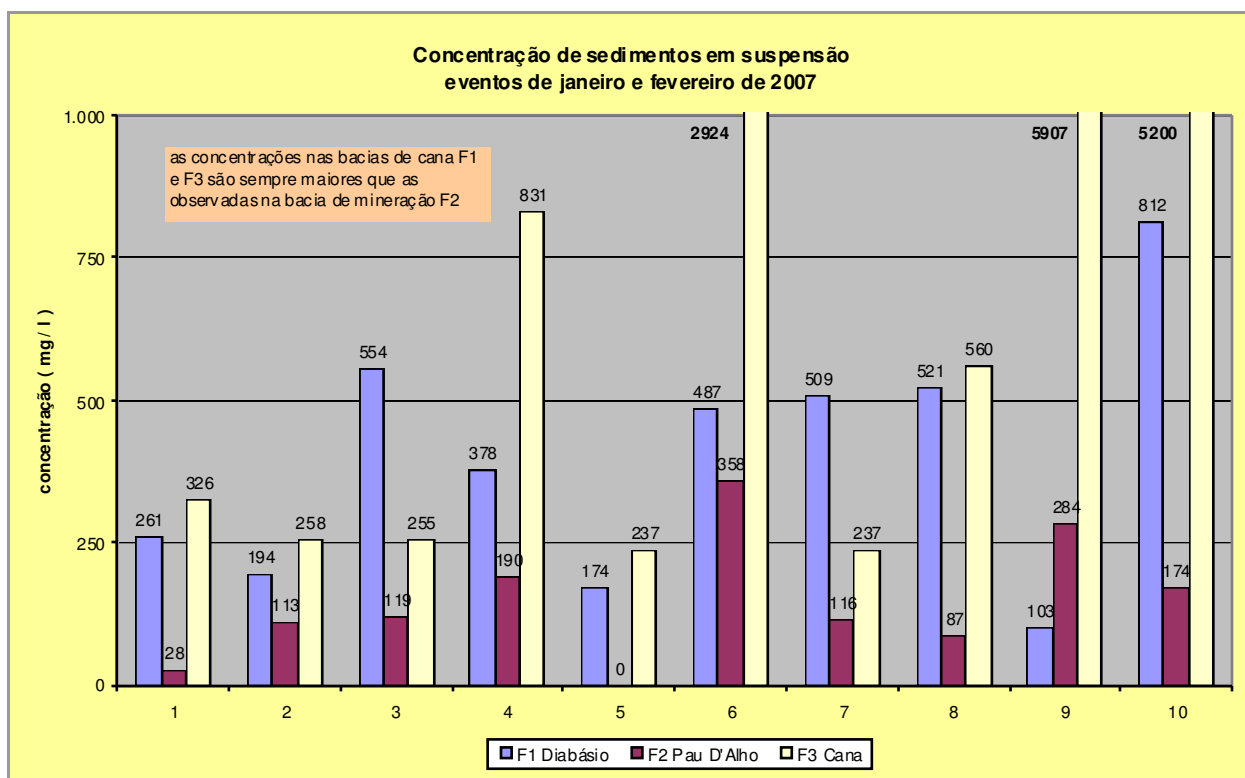


Figura 7.1.10.2 - 3 Concentrações de sedimentos em suspensão 2007

As concentrações foram determinadas a partir de amostragem com turbidissondas dispostas em espaçamento vertical de 0,30 m entre si. Estas amostragens compreenderam o período de cheias dez 2006 a mar 2007. O posto fluviométrico forneceu as vazões líquidas. Limnógrafos instalados ao lado dos vertedores permitiram o registro contínuo de vazões líquidas.

A vazão sólida Q_s é determinada pelo produto da concentração C e a vazão líquida Q , pela equação:

$$Q_s \text{ (N/s)} = 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot C(\text{mg/l}) \cdot Q(\text{m}^3/\text{s})$$

N/s = Newtons por segundo



Para efeito de análise comparativa entre as bacias monitoradas essas grandezas foram tomadas em termos do valor específico, ou seja, por unidade de área de bacia. Para isto dividem-se os valores pela área da bacia correspondente. Os resultados são apresentados nos Quadros apresentados a seguir:

**Quadro 7.1.10.2-3 Resultados das medições de concentrações no posto F3
Cana**

Data	C	c	Q	q	q _s
	(mg/l)	(mg/l.km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s.km ²)	N/s.km ²
27/12/2006	276	345	0,0233	0,0291	0,098479
04/01/2007	200	250	0,1532	0,1915	0,469286
05/01/2007	326	408	0,1200	0,1500	0,599197
	923	1154	0,7732	0,9665	10,92762
08/01/2007	258	323	0,0536	0,0670	0,2116
	116	145	0,0536	0,0670	0,095138
19/01/2007	255	319	0,0462	0,0577	0,180312
	831	1039	0,0462	0,0577	0,587606
22/01/2007	237	296	0,0487	0,0609	0,176885
	2.924	3655	0,0487	0,0609	2,182325
26/01/2007	57	71	0,0431	0,0538	0,037582
27/01/2007	58	73	0,0636	0,0796	0,056522
06/02/2007	237	296	0,0441	0,0552	0,160121
09/02/2007	560	700	0,0688	0,0860	0,589968
	5.907	7384	0,0688	0,0860	6,223109
	5.200	6500	0,0688	0,0860	5,478274

**Quadro 7.1.10.2-4– Resultados das medições de concentrações no posto F1
Diabásio**

Data	C	c	Q	q	q _s
	(mg/l)	(mg/l.km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s.km ²)	N/s.km ²
04/01/2007	191	163	0,0672	0,0574	0,091888
05/01/2007	261	223	0,0780	0,0667	0,145813
08/01/2007	194	110	0,0357	0,0305	0,032808
19/01/2007	554	474	0,0363	0,0310	0,143908
	378	323	0,0363	0,0310	0,09819
22/01/2007	174	149	0,0393	0,0336	0,048955
	487	416	0,0393	0,0336	0,136982
06/02/2007	509	435	0,0656	0,0561	0,239043
09/02/2007	521	445	0,0696	0,0595	0,259541
	103	88	0,0696	0,0595	0,05131
	812	694	0,0696	0,0595	0,404505



Quadro 7.1.10.2-5– Resultados das medições de concentrações no posto F2 Pau D'Alho

Data	C	c	Q	q	q _s
	(mg/l)	(mg/l.km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s.km ²)	N/s.km ²
27/12/2006	181	102	0,0286	0,0162	0,016188
05/01/2007	28	16	0,4586	0,2591	0,040163
	307	173	0,4586	0,2591	0,440357
08/01/2007	113	64	0,2013	0,1137	0,071165
	197	111	0,2013	0,1137	0,124066
19/01/2007	119	67	0,1800	0,1017	0,067006
	190	107	0,1800	0,1017	0,106985
	358	202	0,0941	0,0532	0,105356
	385	218	0,0941	0,0532	0,113302
27/01/2007	79	45	0,0942	0,0532	0,023279
29/01/2007	60	34	0,0883	0,0499	0,016573
06/02/2007	116	66	0,1192	0,0674	0,043261
09/02/2007	87	49	0,3265	0,1845	0,088857
	284	160	0,3265	0,1845	0,290062
	174	98	0,3265	0,1845	0,177714
10/2/2007	59	33	0,0795	0,0449	0,014672

O trabalho realizado pela UNESP (2006) determinou vazões e concentrações ao longo do ano de 2005 nos postos F1 Diabásio e F2 Pau d'Alho (o posto F3 Cana não existia na época). Não foram registrados eventos com concentrações elevadas. De um modo geral os pontos estão situados no ramo baixo da curva de correlação entre as vazões líquidas e sólidas. Os resultados destes levantamentos encontram-se nos Quadros apresentados a seguir.

Quadro 7.1.10.2-6 Resultados das medições de concentrações (UNESP, 2006) no posto F1 Diabásio

Data	C	c	q	q _s
	(mg/l)	(mg/l.km ²)	(m ³ /s.km ²)	N/s.km ²
11/3/2005	42	35,90	0,0515	0,018117
24/2/2005	69	58,97	0,0515	0,029764
28/1/2005	72	61,54	0,0515	0,031058
16/4/2005	10	8,55	0,0343	0,002873
30/4/2005	6	5,13	0,0343	0,001724
16/5/2005	11	9,40	0,0295	0,002718
25/6/2005	10	8,55	0,0251	0,002102
9/7/2005	11	9,40	0,0211	0,001944
12/9/2005	10	8,55	0,0037	0,00031
27/9/2005	13	11,11	0,007	0,000762
14/11/2005	11	9,40	0,0025	0,00023
19/11/2005	5,9	5,04	0,0037	0,000183



**Quadro 7.1.10.2-7 Resultados das medições de concentrações (UNESP, 2006)
no posto F2 Cana**

Data	C	c	q	Q _s
	(mg/l)	(mg/l.km ²)	(m ³ /s.km ²)	N/s.km ²
28/01/2005	476	268,93	0,0115	0,030308
24/02/2005	102	57,63	0,003	0,0016942
11/03/2005	171	96,61	0,003	0,0028403
16/04/2005	20	11,30	1,30E-03	0,000144
30/04/2005	26	14,69	2,00E-03	0,0002879
16/05/2005	9,4	5,31	1,30E-03	6,766E-05
25/06/2005	24	13,56	7,00E-04	9,302E-05
04/07/2005	13600	7683,62	7,00E-04	0,0527096
07/07/2005	11	6,21	7,00E-04	4,263E-05
23/07/2005	36	20,34	7,00E-04	0,0001395
12/09/2005	24	13,56	1,00E-04	1,329E-05
27/09/2005	8,7	4,92	2,00E-04	9,634E-06
14/11/2005	23	12,99	5,00E-05	6,367E-06
19/11/2005	171	96,61	5,00E-04	0,0004734

A constituição do solo na bacia do Santa Gertrudes é predominantemente de material fino, principalmente na faixa das argilas (>50%) seguida por siltes, e um percentual muito baixo de areias (<20% dos quais cerca da metade são areias finas d<0,2 mm).

Analisando os resultados das medições de concentrações, verifica-se, de maneira preliminar, que atualmente a produção de sedimentos nas bacias ocupadas por canais apresenta níveis de concentração específica (concentração por unidade de área de bacia) superiores à bacia minerada. Isto é o que se observa na **Figura 7.1.10.2 - 6** para o período de monitoramento na época das cheias. Uma possível explicação para isto é que as atividades de mineração encontram-se paralisadas atualmente e a maior produção de sedimentos nas bacias com canais provavelmente se deve ao fato de o solo estar mais desprotegido no período das cheias, período de manejo da cana.

Dados das medições realizadas no período de 2005 (UNESP, 2006 – **Figura 7.1.10.2 - 5**) mostram haver boa aderência entre as medições dos postos F1 Diabásio e F2 Pau D'Alho (Tubulão) nesta faixa de medições (vazões mais baixas). As concentrações são relativamente baixas, em grande parte inferiores a 50 mg/l.Km². A grosso modo os dados do período de cheias nas bacias dos canais como na área de mineração apresentam a mesma ordem de grandeza ou são superiores aos dados levantados pela CETESB (UNESP, 2006). Nesta figura, mais uma vez observa-se uma produção de sedimentos mais acentuada nas bacias dos canais. Para vazões específicas superiores a 0,03 m³/s.Km² há um acréscimo acentuado nas concentrações nas áreas de canais podendo exceder concentrações específicas da ordem de 2000 mg/l.Km².



As medições efetuadas no posto F2 Pau D'Alho demonstram uma boa aderência entre os pontos relativos à situação atual, medidos no período de cheias, e os pontos da primeira campanha que foram distribuídos ao longo do ano. Foi feita uma regressão linear resultando a seguinte equação para a área de mineração, para a situação atual:

$$q_s \text{ (N/s.km}^2\text{)} = 1,317 \cdot q^{1,208} \text{ (m}^3\text{/s.km}^2\text{)}$$

com coeficiente de correlação: $r^2 = 0,917$. A **Figura 7.1.10.2 – 6** mostra esta curva de ajuste juntamente com os dados levantados.

O posto F1 Diabásio se alinha razoavelmente para o ramo de vazões específicas baixas, mas a partir de uma vazão específica da ordem de $0,03 \text{ m}^3\text{/s.Km}^2$ há uma inflexão acentuada da curva, conforme já foi mencionado. Se não for considerada essa inflexão, o resultado do ajuste representado na **Figura 7.1.10.2 – 7** atende a seguinte equação:

$$q_s \text{ (N/s.km}^2\text{)} = 28,9 \cdot q^{2,106} \text{ (m}^3\text{/s.km}^2\text{)}$$

Com coeficiente de correlação: $r^2 = 0,834$.

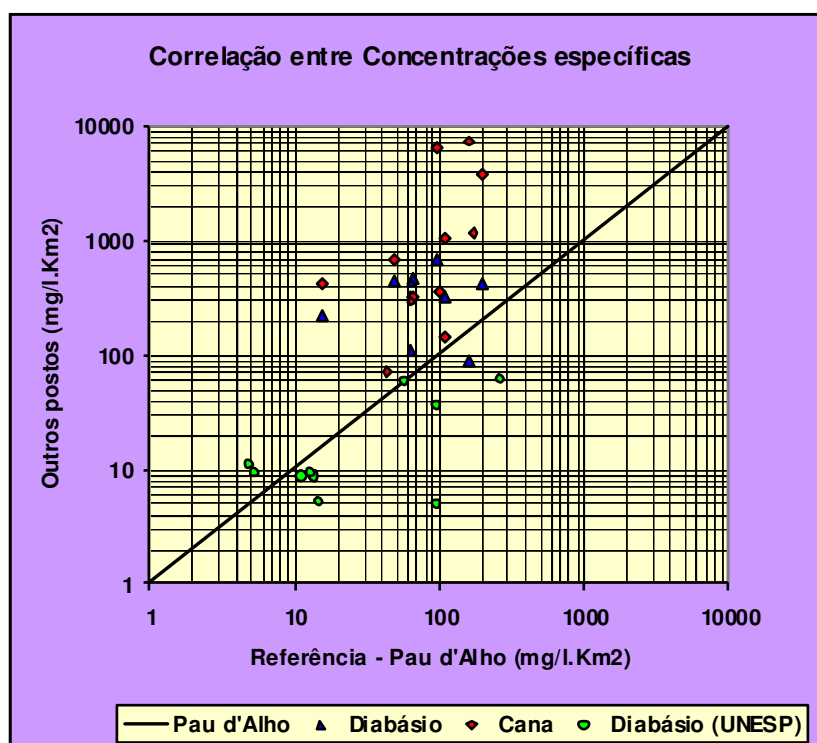


Figura 7.1.10.2-4 Comparação entre o dados de concentração medidos nos postos sedimentométricos, tomando como base o posto Pau d'Alho (Tubulão)

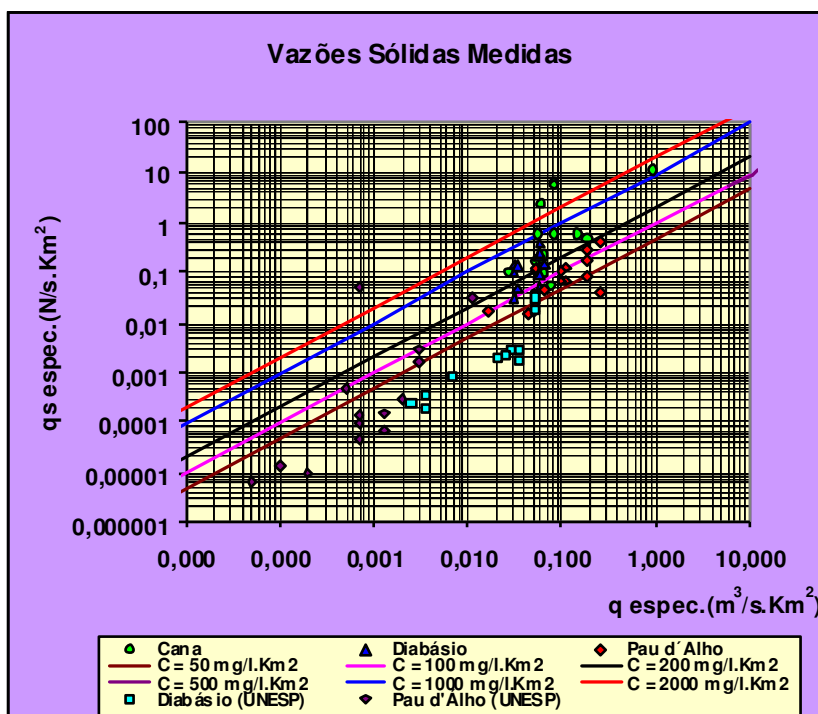


Figura 7.1.10.2 - 5 Comparação das concentrações nos três postos monitorados

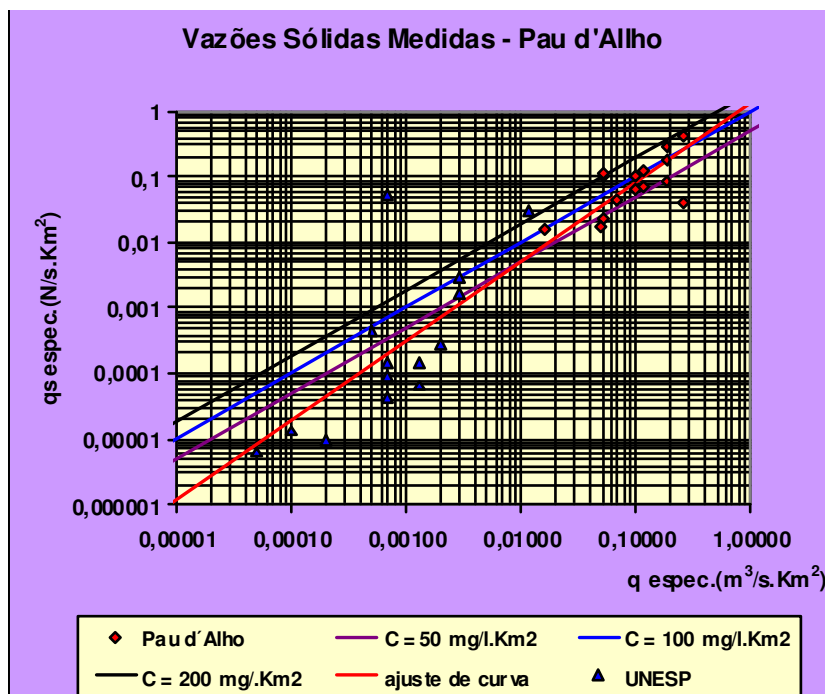


Figura 7.1.10.2 – 6 Curva de ajuste para as vazões específicas no posto Pau d'Alho

Se for considerada a inflexão, tem-se então duas curvas de ajuste, válidas até a intersecção, representadas também na Figura 7.1.10.2 – 7. Estas curvas são as seguintes:

$$q_s \text{ (N/s.km}^2\text{)} = 1399.q^{3,333} \text{ (m}^3\text{/s.km}^2\text{)}$$

Com coeficiente de correlação: $r^2 = 0,635$, válida para $q > 0,015 \text{ m}^3\text{/s.km}^2$.

Para valores de vazão específica inferiores a esse limite vale a equação:

$$q_s \text{ (N/s.km}^2\text{)} = 0,0765.q^{0,992} \text{ (m}^3\text{/s.km}^2\text{)}$$

Com coeficiente de correlação: $r^2 = 0,969$.

Considerando que as bacias dos postos F3 Cana e F1 Diabásio apresentam características fisiográficas, pedológicas e geológicas razoavelmente semelhantes e que os resultados das medições apontam também uma boa aderência, dentro do que se espera de dados sedimentométricos, foi feito um ajuste visual do que seria uma curva média para representar a produção de sedimentos nas bacias ocupadas com canavial. Este ajuste está representado na **Figura 7.1.10.2 – 8**.

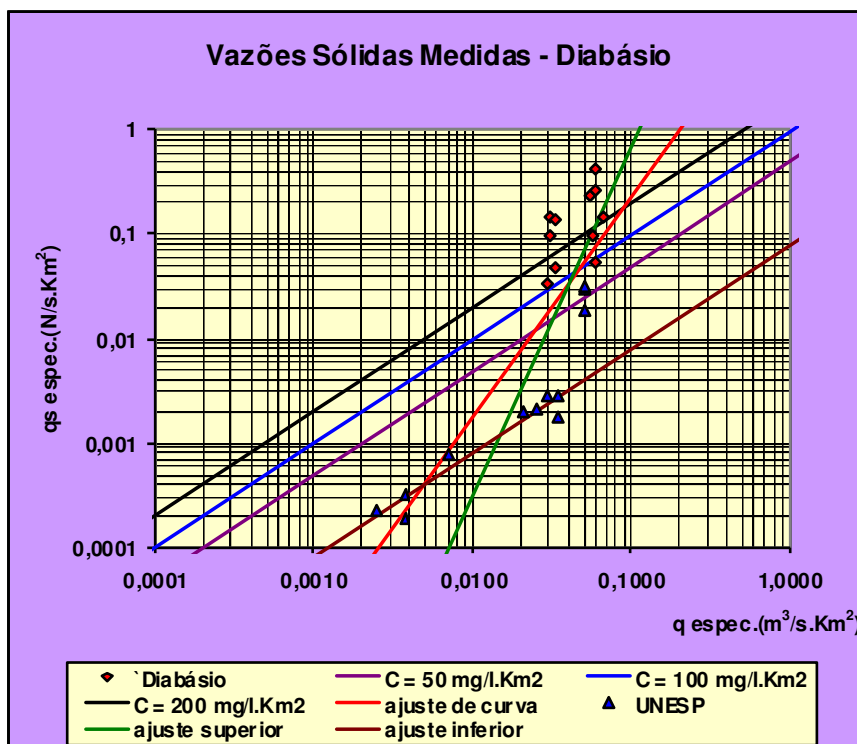


Figura 7.1.10.2 – 7 Curvas de ajuste para as vazões específicas no posto Diabásio

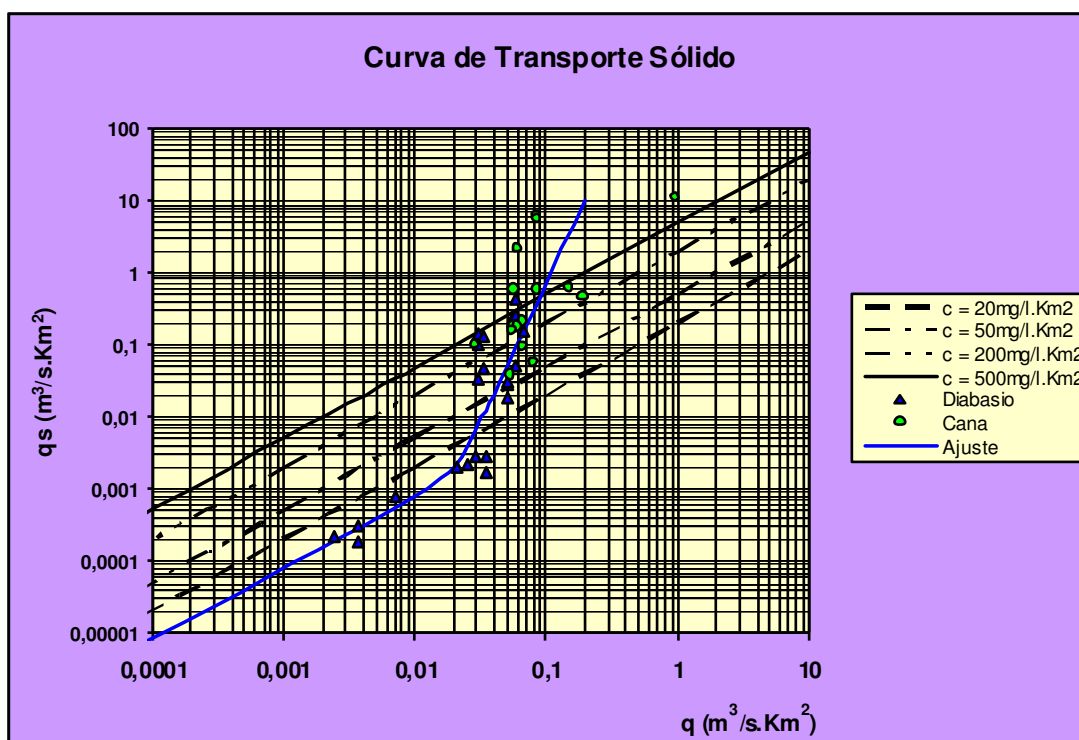


Figura 7.1.10.2 – 8 Curva de ajuste para as vazões nas bacias de canavial

A partir dos cálculos de regionalização de vazões elaborado pelo DAEE (<http://www.dae.sp.gov>) foi feita a curva de permanência para a região, considerando uma vazão específica média de 12,7 l/s.km² (desta regionalização), cujos resultados encontram-se no **Quadro 7.1.10.2-7**. Os dados destas curvas de permanência não apresentam valores da magnitude dos registrados nas medições porque esses eventos ocupam um período muito pequeno ao longo do ano, não afetando significativamente os valores médios anuais. Os valores destas vazões de eventos de maior magnitude serão utilizados mais adiante no dimensionamento dos dispositivos de retenção de sedimentos.



Quadro 7.1.10.2-7 Curva de permanência das vazões específicas líquida e sólida

% tempo			Pau d'Alho		Diabásio	
	p	q _{média}	qs	qs%	qs	qs%
5	2,396	3,04E-02	1,94E-02	9,69E-04	1,85E-02	9,23E-04
10	1,983	2,52E-02	1,54E-02	7,71E-04	1,24E-02	6,20E-04
15	1,664	2,11E-02	1,25E-02	6,24E-04	8,56E-03	4,28E-04
20	1,442	1,83E-02	1,05E-02	5,25E-04	6,33E-03	3,17E-04
25	1,255	1,59E-02	8,88E-03	4,44E-04	4,73E-03	2,36E-04
30	1,121	1,42E-02	7,74E-03	3,87E-04	3,73E-03	1,86E-04
40	0,923	1,17E-02	6,12E-03	6,12E-04	2,48E-03	2,48E-04
50	0,789	1,00E-02	5,07E-03	5,07E-04	1,78E-03	1,78E-04
60	0,679	8,62E-03	4,23E-03	4,23E-04	1,30E-03	1,30E-04
70	0,592	7,51E-03	3,58E-03	1,79E-04	9,71E-04	4,86E-05
75	0,547	6,94E-03	3,26E-03	1,63E-04	8,22E-04	4,11E-05
80	0,506	6,42E-03	2,96E-03	1,48E-04	6,98E-04	3,49E-05
85	0,469	5,95E-03	2,70E-03	1,35E-04	5,95E-04	2,97E-05
90	0,420	5,33E-03	2,37E-03	1,18E-04	4,71E-04	2,36E-05
95	0,363	4,61E-03	1,98E-03	9,92E-05	3,47E-04	1,73E-05
100	0,223	2,83E-03	1,10E-03	5,51E-05	1,24E-04	6,21E-06
Total	(em N/s.Km ²)			0,00634		0,00351
	(em t/ano.Km ²)			20,4		11,3

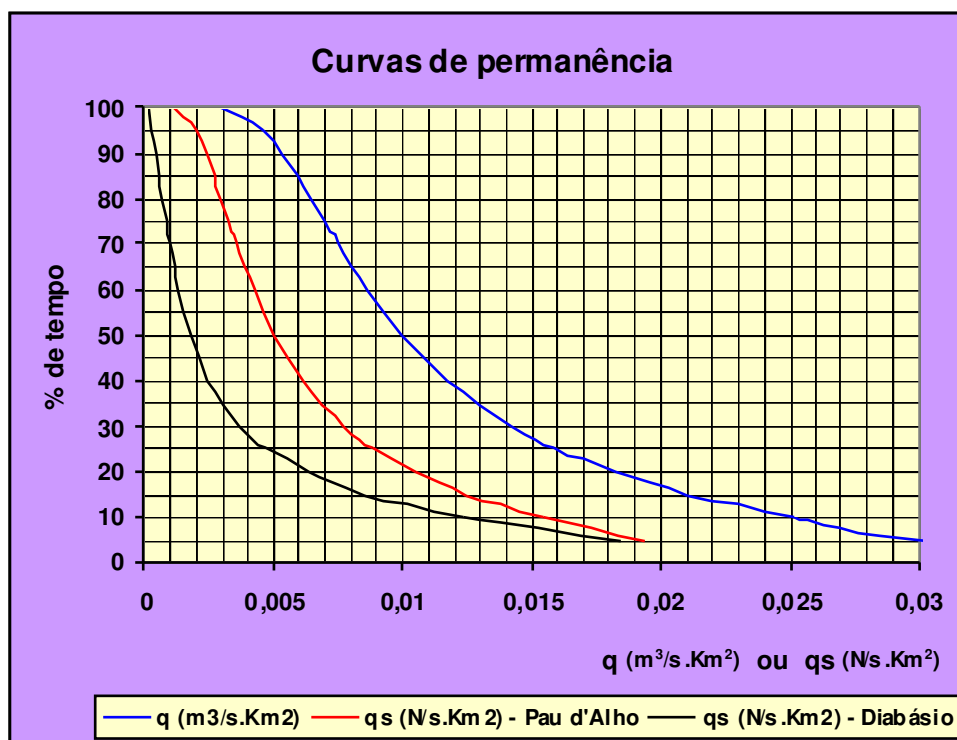


Figura 7.1.10.2-9 Curva de permanência de vazões específicas líquidas e sólidas



Com estes dados de regionalização observa-se uma produção muito modesta de sedimentos, o que era esperado face aos baixos valores de concentração registrados durante a campanha. Contudo, em termos de média anual os valores extremos observados nas bacias dos canaviais têm um peso muito reduzido, prevalecendo as vazões de menor magnitude onde a produção de sedimentos na área mineral mostrou-se ligeiramente superior.

7.1.10.3 Produção de sedimentos em diferentes bacias e cenários

Adotando-se o valor de 25%, dentro do critério de Vanoni, para todas as formas de avaliação apresentadas anteriormente no item referente às bases conceituais, e confrontando com os valores de medições resultam as seguintes taxas de contribuição sólida efetiva na calha do rio (**Quadro 7.1.10.3-1**):

Quadro 7.1.10.3-1 Contribuição sólida total na calha do rio pelos diferentes critérios

Critério	CS	TL	qss
	t/km ² .ano		t/km ² .ano
Langbein e Schumm	400	0,25	100
Flemming	690	0,25	170
IPH/UFRGS	477	0,25	119
IAC (cana)	1240	0,25	310
Mineração (Dawdy-1967)	1147	0,25	287
Medições – Pau d’Alho			20,4
Medições – Diabásio			11,3

Verifica-se que os valores estimados a partir dos critérios do IAC apresentam o valor mais conservativo em se tratando tanto de ocupação agrícola (cana - 310 t/km².ano) como de mineração (o único dado disponível sobre mineração - Dawdy 1967 - deu resultados da mesma ordem de grandeza - 287 t/km².ano). Por outro lado, um dado mais realista proveniente de medições aponta valores bem inferiores.

7.1.10.4 Transporte de sedimentos nos rios da bacia

As características granulométricas do solo da região dão uma indicação de que o córrego Santa Gertrudes, bem como seus afluentes transportam a maior parte dos sedimentos em suspensão, na modalidade que se enquadra como sendo carga de lavagem. Define-se como carga de lavagem todos os materiais transportados perenemente em suspensão e que raramente são encontrados no leito, dada a sua reduzida dimensão face a magnitude relativa das forças hidrodinâmicas que os mantêm em suspensão.

Este material de carga de lavagem só é sedimentável naturalmente em condições muito particulares que não existem na bacia do Santa Gertrudes, ou por processos artificiais como os utilizados em estações de tratamento de água.



No presente caso há predominância de argilas e siltes, e conseqüentemente somente as frações das areias (< 20%) é que podem ser transportadas como carga de leito (por arrasamento ou suspensão).

A equação de O'Brien mostra que quando os valores do parâmetro de Rouse são de valor reduzido, os sedimentos tendem a se distribuir uniformemente ao longo da coluna líquida. Rios do porte do córrego Santa Gertrudes e afluentes tem normalmente declividades superiores a 10^{-3} m/m, resultando velocidades de atrito da ordem de:

$$v_* = \sqrt{g.Rh.S_o} = 0,04 \text{ a } 0,12 \text{ m/s para } Rh \text{ variando entre } 0,2 \text{ m e } 1,5 \text{ m}$$

Desta forma os valores do parâmetro de Rouse assumem os valores:

$$z = \frac{\omega_o}{\chi.v_*} = \frac{0,003}{0,4.v_*} = 0,06 \text{ a } 0,017 \text{ m / s}$$

Para estes valores, conforme se observa a partir da equação de O'Brien os sedimentos se distribuem ao longo da coluna líquida sem variações significativas, demonstrando que não havendo retenções na origem, os sedimentos não encontram condições de deposição ao longo do caminho na bacia do ribeirão Santa Gertrudes.

7.1.11 Hidrogeologia

Unidade hidroestratigráfica pode ser definida como a parte de um corpo rochoso que forma uma unidade hidrogeológica distinta com relação ao fluxo de água (Maxey, 1964, apud Seaber, 1988). Revisando este conceito, Seaber (1988) redefiniu o termo como “um corpo rochoso distinguido e caracterizado por sua porosidade e permeabilidade”. Desse modo, o arcabouço geológico pode ser subdividido em porções mais permeáveis ou menos permeáveis (aqüíferos e aqüitardos, respectivamente), auxiliando na determinação do sistema de fluxo regional.

Uma unidade hidroestratigráfica pode ocorrer em uma ou mais unidades litoestratigráficas. Em termos gerais, os fatores controladores das propriedades de fluxo dos diferentes meios estão intimamente relacionados com os processos geológicos que deram origem às rochas. Assim sendo, observa-se estreita relação entre litoestratigrafia e hidroestratigrafia, fato que, em termos práticos, conduz a convencionar unidades estratigráficas regionais como unidades hidroestratigráficas.

Já os sistemas aqüíferos correspondem a “um corpo heterogêneo de materiais com intercalações permeáveis a pobremente permeáveis, que funciona como uma unidade hidroestratigráfica produtora de água, compreendendo duas ou mais camadas permeáveis, separadas ao menos localmente por aqüitardos, que dificultam o movimento das águas subterrâneas, mas que não afetam a continuidade hidráulica do sistema” (Poland *et al.*, 1972, apud Machado, 2005). A unidade confinante é definida como equivalente aos termos aqüitardo e aqüicludo, e tem sido usada nos relatórios do U.S. Geological Survey desde 1972, com este significado (Machado, 2005).

Estudos realizados pelo DAEE (1981), na região administrativa de Campinas (SP), identificaram com base no comportamento hidráulico das principais unidades geológicas presentes, quatro sistemas aqüíferos de caráter regional: Cristalino, Tubarão, Botucatu (atualmente denominado Guarani) e Diabásio (relacionado ao Aqüífero Serra Geral) (**Quadro 7.1.11-1**). Estes sistemas foram agrupados, de acordo com o tipo de armazenamento subterrâneo, em meios de porosidade predominantemente intersticial (Tubarão e Guarani) e predominantemente fissural (Cristalino e Serra Geral). O Grupo Passa Dois, representado nesta região pelas unidades litoestratigráficas Corumbataí e Irati (**Quadro 7.1.11-1**), é regionalmente considerado aqüicludo devida às suas características litológicas predominantemente pelíticas, embora localmente possa apresentar zonas aqüíferas descontínuas representadas por bancos de calcários e rochas lamíticas fissuradas.

Quadro 7.1.11-1 – Coluna hidroestratigráfica regional simplificada da região administrativa de Campinas - SP

COLUNA HIDROESTRATIGRÁFICA		
Unidade estratigráfica	Litologia	Hidroestratigrafia
Fm. Serra Geral	Diabásio / basalto	Aqüífero Serra Geral
Fm. Botucatu / Pirambóia	Arenitos e argilitos	Aqüífero Botucatu (atual Guarani)
Fm. Corumbataí / Irati	Siltitos, argilitos, folhelhos e calcários	Aqüitardo Passa Dois



COLUNA HIDROESTRATIGRÁFICA		
Unidade estratigráfica	Litologia	Hidroestratigrafia
Fm. Tatuí / Grupo Itararé	Siltitos, arenitos, diamictitos e folhelhos	Aqüífero Tubarão
Cristalino	Granitos, gnaisses	Aqüífero Cristalino

Fonte: DAEE, 1981

7.1.11.1 Unidades hidroestratigráficas regionais e na área do empreendimento

Neste item, são descritas as principais unidades hidroestratigráficas ocorrentes na área do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, com exceção dos sistemas aquíferos Cristalino, que por encontrar-se localmente muito profundo não é aproveitado para captação de água subterrânea, e Guarani, que é representado apenas localmente em áreas vizinhas por pequena espessura de sedimentos da Formação Pirambóia. As **figuras 7.1.11.1-1 e 7.1.11.2-1** mostram, respectivamente, o arranjo vertical e a distribuição areal das unidades hidroestratigráficas presentes na área do empreendimento mineral.

• Sistema Aquífero Tubarão

O Sistema Aquífero Tubarão compreende duas unidades hidroestratigráficas: o Aquífero Itararé, situado em posição estratigráfica inferior, e o Aquífero Tatuí, em posição superior. Este sistema assenta-se sobre rochas cristalinas pré-cambrianas na região de Santa Gertrudes (SP), estando confinado hidráulicamente no topo pelo Aquicludo Passa Dois (**7.1.11.1-1**).

O Sistema Aquífero Tubarão é o principal reservatório de água subterrânea da região, fornecendo água para atividades diversas, inclusive para abastecimento público de várias cidades, como por exemplo, Santa Gertrudes. Aflora na região de Limeira (SP) e mergulha por sob camadas argilosas em direção à Rio Claro (SP), onde passa a ter comportamento de aquífero confinado. Encontra-se cortado por diversas intrusões de rochas diabásicas, em níveis estratigráficos distintos, que interrompem sua continuidade, e ainda pode estar recoberto, em grandes áreas, por sedimentos cenozóicos de pequena espessura. Sua espessura saturada tende a aumentar na direção oeste da região e pode alcançar até 1.300 metros, com valor médio na área de afloramento de 400 metros. O armazenamento e a circulação de água neste aquífero ocorrem, principalmente, nos interstícios dos grãos dos sedimentos clásticos arenosos (arenitos, conglomerados, etc.), os quais se intercalam com camadas de sedimentos finos (lamitos, siltitos e folhelhos), impermeáveis, responsáveis pelas características de anisotropia do escoamento subterrâneo (DAEE, 1981).

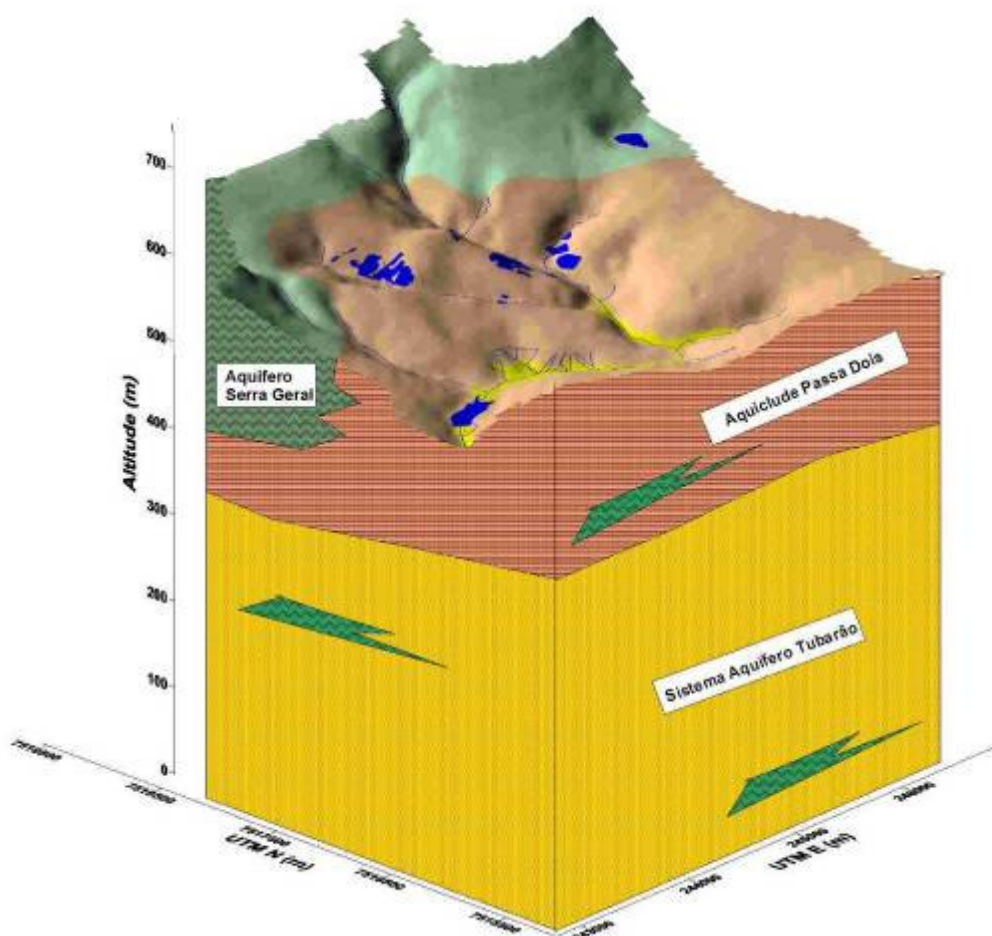


Figura 7.1.11.1-1 – Arranjo vertical esquemático das unidades hidroestratigráficas presentes na área do empreendimento mineral.

A faixa média de vazão atingida por poços que captam água do Sistema Aquífero Tubarão, na região, varia de 5 a 40 m³/h, sendo que a maioria dos poços fornece vazão de 5 a 10 m³/h (DAEE, 1981). Convém esclarecer que estes dados englobam poços mal construídos, que não representam as condições reais do aquífero. De acordo com o DAEE (1982), a transmissividade deste sistema varia de 0,3 a 40 m²/dia, podendo alcançar até 150 m²/dia, e reflete as heterogeneidades do aquífero. Estudos mais recentes têm indicado existência de fraturas com boa permeabilidade que influenciam a potencialidade deste sistema aquífero (Fernandes & Rudolph, 2001).

Em termos hidroquímicos, no Sistema Aquífero Tubarão, predomina águas bicarbonatadas sódicas (60%) e cálcicas (17%), ficando as restantes classificadas como bicarbonatadas magnesianas, cloretadas sódicas e sulfatadas sódicas (DAEE, 1981). Quanto maior a profundidade do poço, maior a concentração de sais. Suas águas possuem condutividades inferiores a 350 µS/cm e teores de bicarbonatos variando de 0,28 a 0,32 meq/L. Os teores de resíduo seco variam de 21 a 421 mg/L, com média entre 100 e 200 mg/L. Altos teores de fluoretos e sulfatos podem ser encontrados no Sistema



Aqüífero Tubarão, provenientes de outras unidades estratigráficas (Grupo Passa Dois e fendas em diabásio). A variação do pH é grande, com valores que vão de 5,6 a 9,0, havendo predominância de pH básico (DAEE, 1981).

Este sistema aquífero não apresenta, normalmente, restrições quanto à potabilidade e suas águas podem ser classificadas como minerais. Como exemplo, pode-se citar as águas minerais exploradas com finalidade turística na região de São Pedro (SP). Em geral, a concentração de sais presentes nas águas deste aquífero aumenta com a profundidade do reservatório subterrâneo, fato que exige perfurações mais profundas para captação de águas mais mineralizadas.

- **Aquiclude Passa Dois**

O Aquiclude Passa Dois, representado pelas formações Corumbataí e Irati, compreende um conjunto de rochas predominantemente pelíticas, muito pouco ou nada permeáveis. Assenta-se sobre o Aqüífero Tubarão (**Figura 7.1.11.1-1**) e, regionalmente, é recoberto por sedimentos da Formação Pirambóia, uma das unidades litoestratigráficas constituintes do Sistema Aqüífero Guarani, e da Formação Rio Claro. Encontra-se freqüentemente entrecortado por rochas intrusivas básicas, em forma de soleiras e de diques, e sua espessura pode atingir mais de 200 metros na região de Santa Gertrudes.

Os sedimentos predominantemente pelíticos desta unidade constituem camada confinante que, ao contrário dos aquíferos, não tem capacidade de transmitir água (condutividade hidráulica muitíssimo baixa). Em razão de seu comportamento hidráulico, constituir um aquíclude em nível regional. Pode constituir zonas aquíferas eventuais em calcários e arenitos finos, intercalados aos sedimentos pelíticos, e ainda em zonas fissuradas junto a lineamentos estruturais (DAEE, 1981). A zona de contato entre sedimentos e intrusões de diabásio também podem, localmente, constituir zonas armazenadoras de água.

Seções em taludes de cavas de minerações expostas na região de Rio Claro e de Santa Gertrudes mostram reduzido número de fraturas com exsudação de água, sugerindo que as estruturas observadas estão, na maior parte, seladas e/ou desconectadas hidráulicamente, dificultando a circulação subsuperficial de água (Unesp, 2006). Em profundidade, o peso da camada rochosa e a natureza litológica pelítica do arcabouço praticamente selam as fraturas e impedem a circulação de água.

Valores de transmissividade obtidos em poucos poços produtores, nesta unidade hidroestratigráfica, situam-se abaixo de 10 m²/dia (DAEE, 1981).

As águas contidas no Aquiclude Passa Dois apresentam teores salinos elevados, com condutividade elétrica superior a 200 µS/cm, podendo atingir até 2.000 µS/cm, com concentrações elevadas de sulfatos e de cloretos, e com pH superiores a 8. Em alguns casos, as águas extraídas desta unidade hidroestratigráfica apresentam concentrações elevadas de elementos nocivos à saúde (DAEE, 1981), principalmente quando provenientes da Formação Irati.

- **Aquífero Serra Geral**



O Aquífero Serra Geral é constituído, na área estudada, por magmatitos básicos intrusivos, os quais podem estar alojados em qualquer nível dentro de outras unidades hidroestratigráficas e com espessuras variáveis, ou ainda, aflorando em determinadas porções do terreno (**Figura 7.1.11.1-1**). A ocorrência eventual de água nestas rochas está associada à presença de sistemas de fraturas ou outras descontinuidades da rocha, fato que caracteriza este aquífero como eventual, descontínuo e heterogêneo (DAEE, 1981). Localmente, os diabásios também podem funcionar como aquíferos ou aquídudes.

A transmissividade desta unidade hidroestratigráfica, obtida em ensaios de bombeamento de poços pelo DAEE (1981), variou de 0,25 a 28 m²/dia, salientando-se que tais valores não representam a transmissividade do pacote rochoso, e sim, a média geométrica das transmissividades das fraturas interceptadas pelos poços (DAEE, 1981).

7.1.11.2 Dados levantados na área do empreendimento

O substrato geológico da bacia do ribeirão Santa Gertrudes, onde está localizada a área do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, é constituído por rochas pelíticas da Formação Corumbataí, vide figura 7.1.11.2-1, cujo comportamento hidrodinâmico regional é de um aquídude (DAEE, 1981). A baixa permeabilidade destas rochas dificulta a circulação de água, mas sob condições específicas pode permitir recarga vertical para aquíferos inferiores.

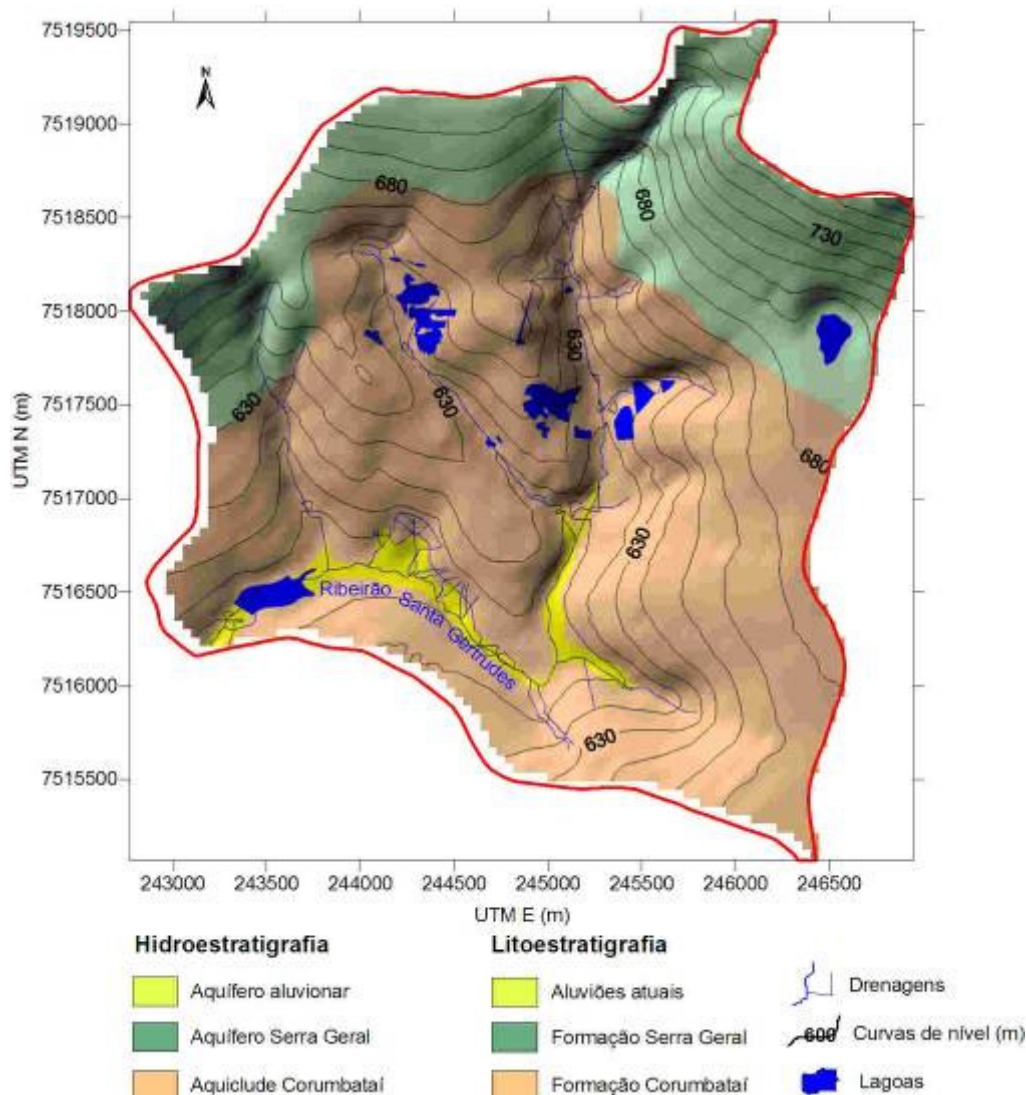


Figura 7.1.11.2-1 – Distribuição das unidades hidroestratigráficas aflorantes na área do empreendimento minerário.

Sondagens realizadas na área mostraram que as rochas praticamente impermeáveis da Formação Corumbataí estão recobertas por capeamento de solo de alteração, derivado do próprio material do substrato, cuja espessura constatada variou de 2 a 7 metros (Unesp, 2006). Estudos realizados pela UNESP (2006) mostraram que períodos de maior precipitação atmosférica produziam recarga no meio físico, através do excedente de águas meteóricas, dando origem à elevação de níveis do lençol freático formado na porção de solo sobreposta ao minério de argila. Cessadas as chuvas, as águas infiltradas moviam-se para os locais de descarga natural, causando rebaixamento do nível freático ou recessão, que se mantinha até o período seguinte de recarga. A **Figura 7.1.11.2-2** exemplifica esta situação mostrando a correlação entre precipitação média mensal do período de 1941 a 2000, registrada no posto pluviométrico D4-049, localizado no Município de Santa Gertrudes, com níveis médios de água subterrânea obtidos do



monitoramento do poço P-20, realizado pela Unesp (2006). Nesta figura, os níveis de água do solo apresentam comportamento sazonal, em correspondência com as variações mensais de precipitação observadas em ciclos anuais. O déficit hídrico do solo verificado no período que vai de abril a setembro, com um período de equilíbrio hídrico de outubro a novembro, e que afeta diretamente os níveis de água subterrânea armazenada no solo da região, pode ser constatado pela estreita correspondência com o gráfico da **Figura 7.1.11.2-3**.

Outra constatação dos estudos da Unesp (2006) foi que, a partir de março, os níveis de água dos poços vão sofrendo progressiva queda até praticamente a exaustão, em boa parte deles. A partir do final de novembro, quando a intensidade e frequência das chuvas aumentam, os níveis de água começam a ascender. De modo geral, a correlação entre nível de água e pluviometria indica que a recarga ocorre nos meses de novembro a fevereiro, e a depleção nos demais meses do ano. Assim, os estudos da Unesp (2006) mostraram que a maioria dos poços de monitoramento da área do pólo cerâmico de Santa Gertrudes permanece seca no período de estiagem. Por outro lado, os poços que mantiveram nível de água durante todo período de monitoramento foram aqueles situados próximos de drenagens superficiais, ou seja, nas imediações de pontos de descarga subterrânea.

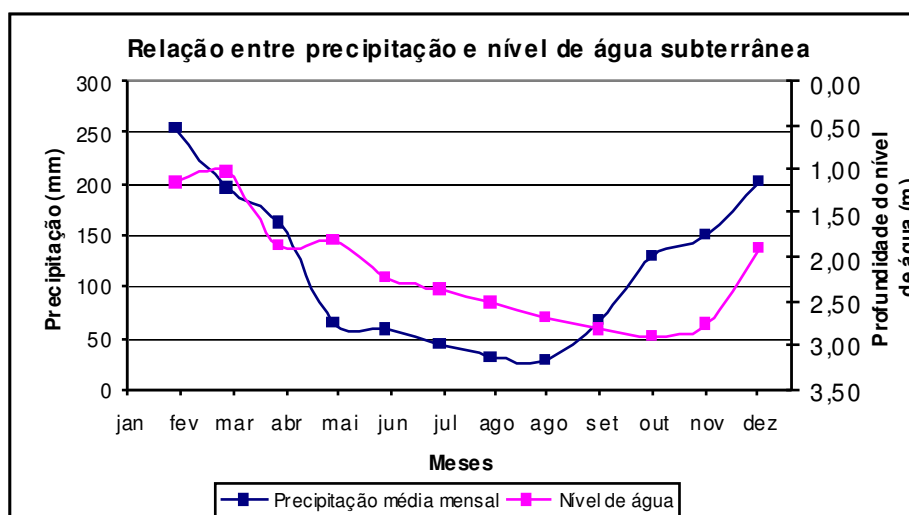


Figura 7.1.11.2-2 Relação entre precipitação e nível de água subterrânea.

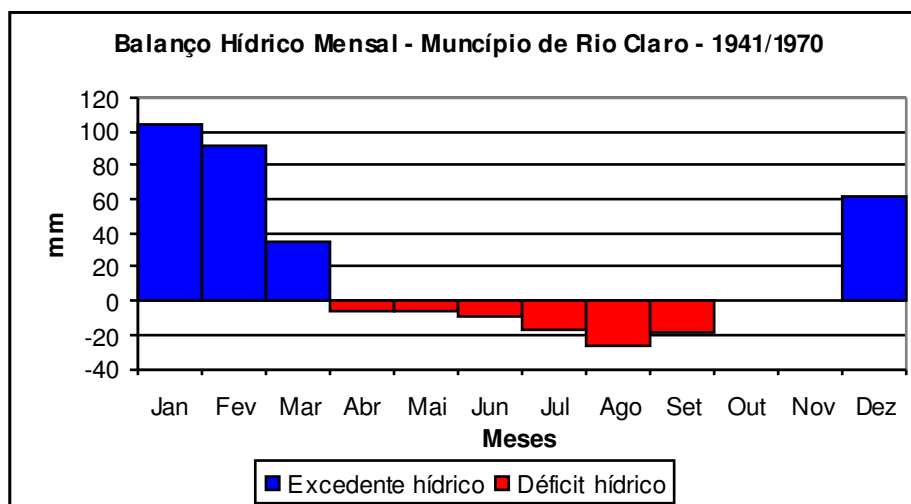


Figura 7.1.11.2-3 Representação gráfica do balanço hídrico mensal no Município de Rio Claro, no período de 1941 a 1970 (Fonte DAEE).

A recessão ocorre tanto mais rápida quanto maior for a condutividade hidráulica do terreno e menor a distância até o ponto de descarga. Segundo Custódio & Llamas (1996), em aquíferos freáticos constituídos de materiais argilosos, com nível de água pouco profundo, a lenta infiltração de águas superficiais deveria produzir efeito lento de recarga; ressaltam que, todavia, em épocas úmidas, às vezes se observa ascensão muito rápida dos níveis, incompatível com as características de baixa condutividade hidráulica do terreno. Para Bonell (1972, *in* Custódio & Llamas, 1996), a explicação pode ser a infiltração preferencial no solo através de descontinuidades originadas por raízes e/ou gretas.

A quantidade de água acumulada na zona saturada de aquíferos freáticos, que pode ser liberada por drenagem gravitacional do solo, é expressa pela porosidade eficaz, definida como a relação entre a variação do volume de água passível de liberação e a variação do volume total do solo saturado. O rápido enchimento e esvaziamento do solo, como mostrado nos estudos da UNESP (2006), sugerem reservatório limitado, com baixa porosidade eficaz.

As características hidráulicas do solo de ocorrência em toda a área de afloramento da Formação Corumbataí foram obtidas por meio de ensaios laboratoriais e *in situ*, pela Unesp (2006). A porosidade total variou de 43 a 50% e a efetiva de 6 a 8%, enquanto a capacidade campo variou de 35 a 44% (UNESP, 2006).

As condutividades hidráulicas médias do solo calculadas pelo método de Hvorslev (1951) em “*slug tests*” variaram de $3,60 \times 10^{-5}$ a $1,02 \times 10^{-4}$ cm/s, respectivamente, em estágios de rebaixamento e de recuperação de níveis. Pelo método de Bouwer & Rice (1976), as condutividades médias calculadas foram de $6,15 \times 10^{-5}$ e $1,64 \times 10^{-4}$ cm/s, respectivamente, para etapas de rebaixamento e de recuperação de níveis. Estes valores enquadraram o material ensaiado na categoria de aquífero pobre (**Quadro 7.1.11.2-1**), indicando que o solo local é do tipo estruturado.



Quadro 7.1.11.2-1 Classificação dos terrenos em função da permeabilidade

CLASSIFICAÇÃO DOS TERRENOS EM FUNÇÃO DA PERMEABILIDADE											
Permeabilidade (m/d)	10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Tipo de terreno	Cascalho limpo		Areia limpa; mistura de cascalho e areia			Areia fina; areia argilosa; argila estratificada			Argilas não alteradas		
Classificação	Aquíferos bons					Aquíferos pobres			Aquitardos / aquíclues		
Capacidade de drenagem	Drenam bem					Drenam mal			Não drenam		

Fonte: Benitez, 1963, *in* Custódio & Llamas, 1996

Valores de condutividade hidráulica vertical, obtidos com utilização de permeâmetro Guelph, variaram de $1,8 \times E-5$ e $3,3 \times E-3$ cm/s, com média geométrica de $2,48 \times E-4$ cm/s (Unesp, 2006).

Estudos hidrogeológicos complementares foram realizados no período de 27 de dezembro de 2006 a 30 de abril de 2007 no pólo cerâmico de Santa Gertrudes, pela UNESP de Rio Claro, com ênfase no monitoramento de níveis dos poços P3, P4, P5, P6, P8, P10, P11, P12, P13, P16, P17 e P18 (**Figura 7.1.11.2-4**). Estes poços foram os que ficaram preservados de um total de 20 instalados em dezembro de 2004, na área do empreendimento minerário, para os estudos da UNESP (2006).

O monitoramento sistemático diário de níveis destes poços (**Figuras 7.1.11.2-5 a 7.1.11.2-16**) apresentou resultados concordantes com o monitoramento anterior realizado pela UNESP (2006), podendo-se observar que a partir do final do mês de fevereiro os níveis de água começam a descer de modo mais acentuado e mantêm a tendência de depleção que alcançará seu auge em outubro (**Figura 7.1.11.2-2**).

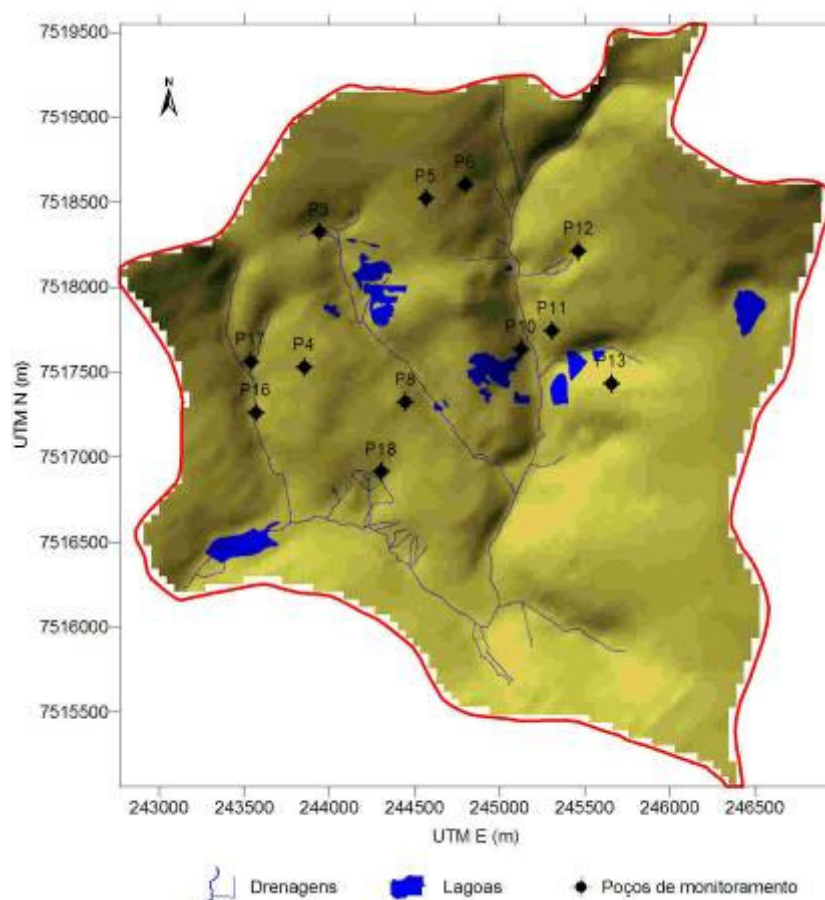


Figura 7.1.11.2-4 Localização dos poços de monitoramento de níveis de águas subterrâneas na bacia do ribeirão Santa Gertrudes.

O rápido esgotamento da camada armazenadora de água concomitantemente ao término das chuvas e sua tendência à depleção na estação seca, conforme verificado nos gráficos, aliada às suas características hidrodinâmicas inexpressivas, não admite, formalmente, o enquadramento da cobertura sedimentar de alteração, que jaz sobre os pelitos da Formação Corumbataí, como uma unidade aquífera característica. O armazenamento reduzido de água na camada de solo inibe sua função essencial, que é o fornecimento de água para manutenção do escoamento de base dos cursos de água superficiais durante os meses de pequena precipitação atmosférica. Unidades aquíferas convencionais, definidas como formações que armazenam e transmitem água em quantidades economicamente aproveitáveis (Fetter, 2001), mostram comportamento hidrodinâmico distinto, mantendo o fluxo de base nos períodos de estiagem, ainda que variações sazonais de nível sejam normais. O exemplo da **Figura 7.1.11.2-17** mostra registros de níveis de um poço de monitoramento instalado no Aquífero Rio Claro, com espessura saturada de aproximadamente 12 metros, no qual a variação sazonal alcançou 2,4 metros entre janeiro de 2005 e janeiro 2006.

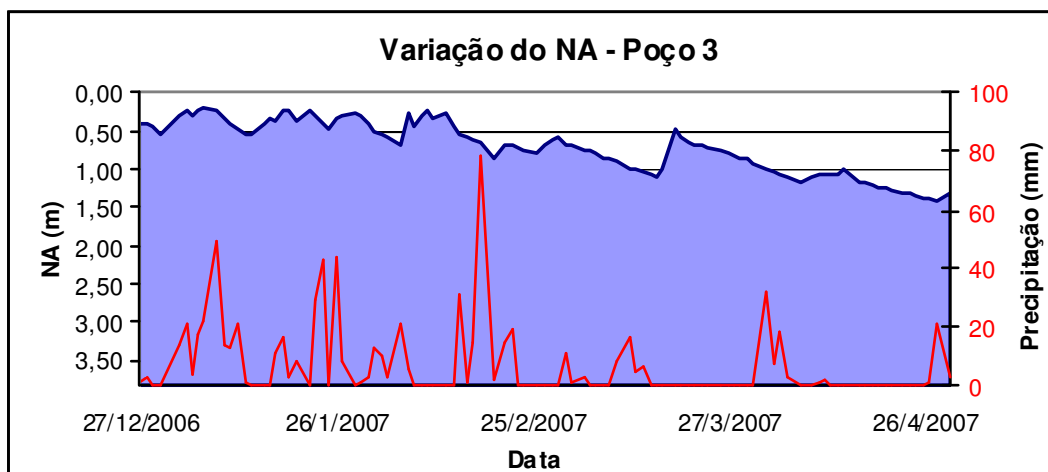


Figura 7.1.11.2-5 Variação do nível de água do poço P3 e da pluviometria.

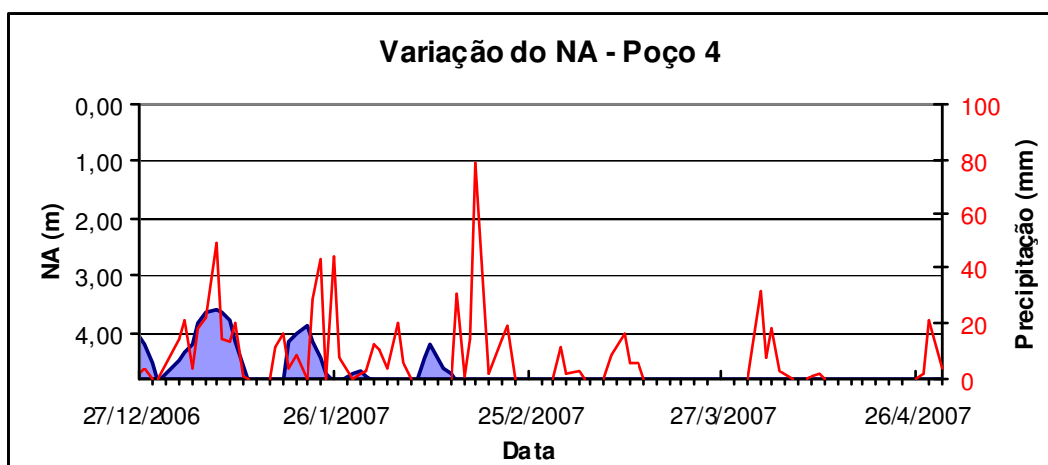


Figura 7.1.11.2-6 Variação do nível de água do poço P4 e da pluviometria.

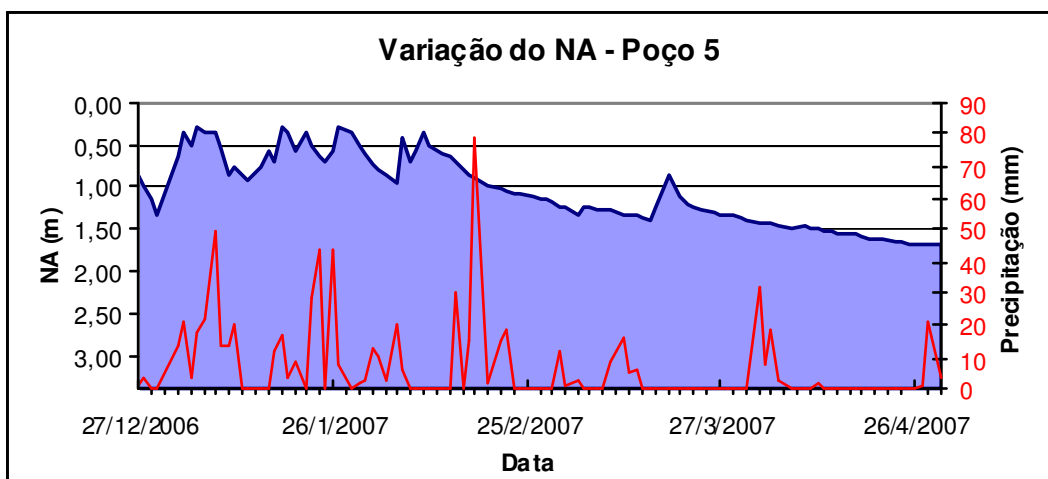


Figura 7.1.11.2-7 Variação do nível de água do poço P5 e da pluviometria.

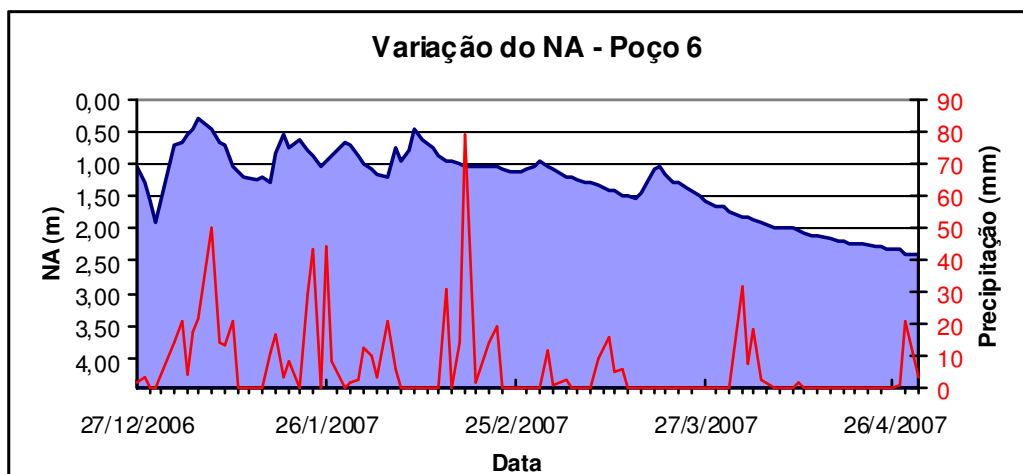


Figura 7.1.11.2-8 Variação do nível de água do poço P6 e da pluviometria.

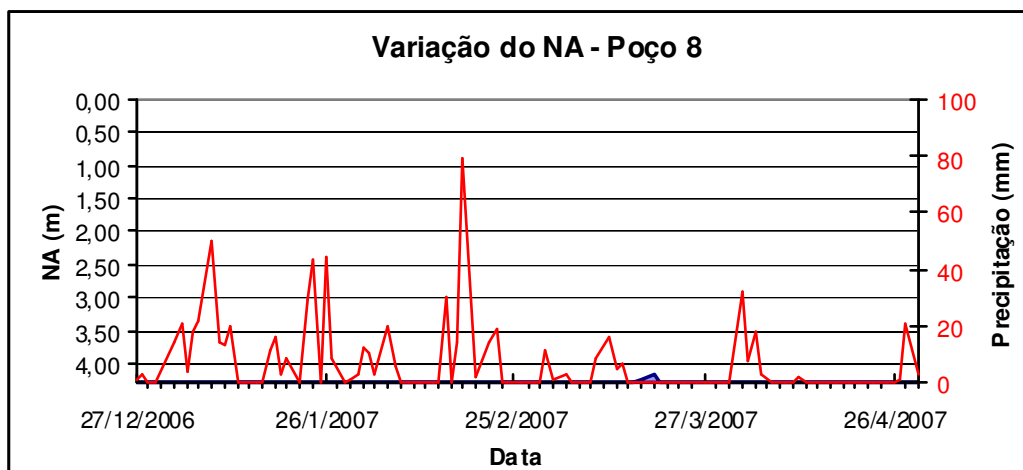


Figura 7.1.11.2-9 Variação do nível de água do poço P8 e da pluviometria.

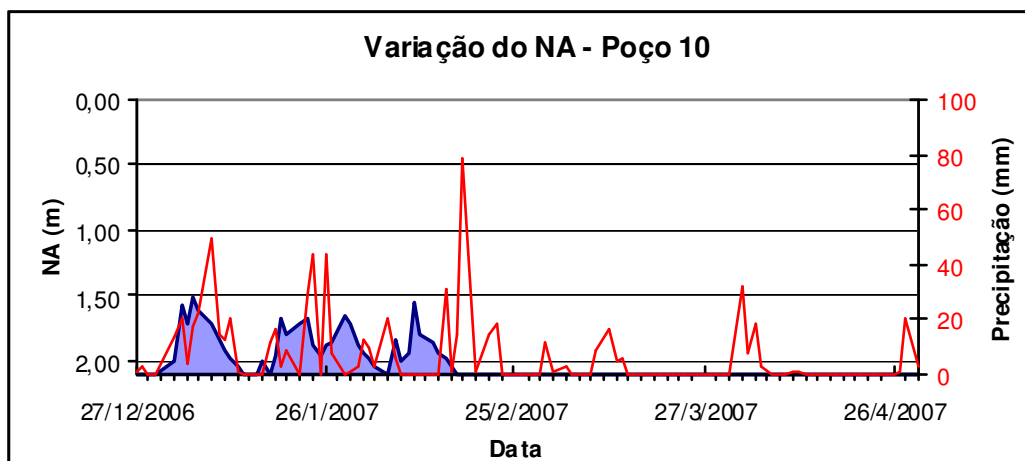


Figura 7.1.11.2-10 Variação do nível de água do poço P10 e da pluviometria.

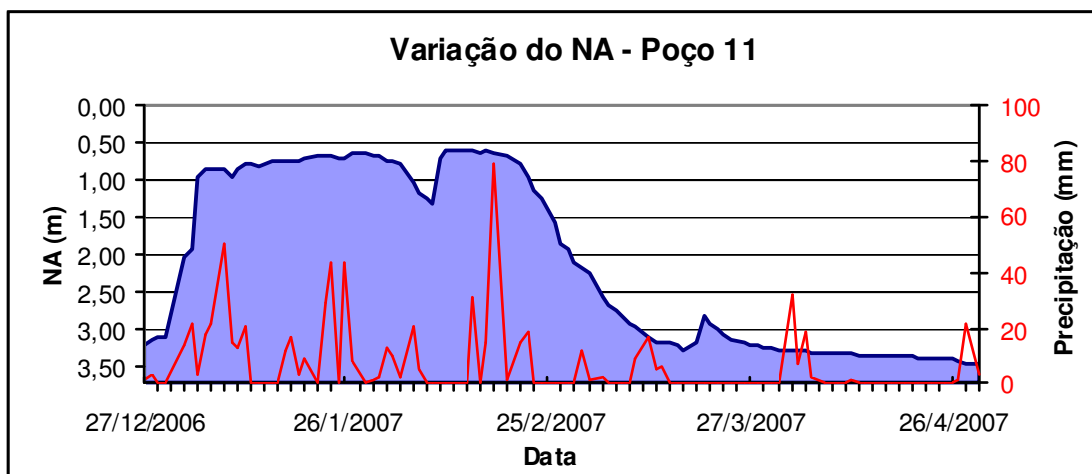


Figura 7.1.11.2-11 Variação do nível de água do poço P11 e da pluviometria.

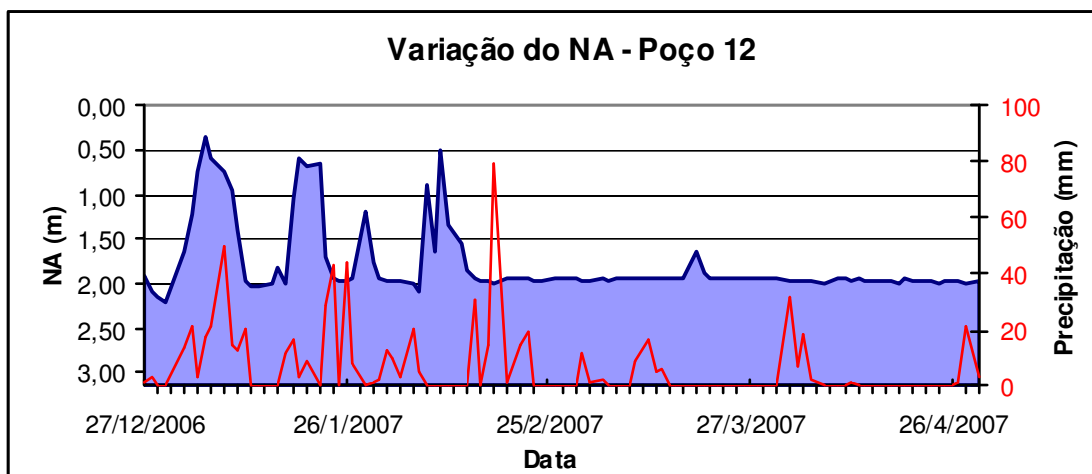


Figura 7.1.11.2-12 Variação do nível de água do poço P12 e da pluviometria.

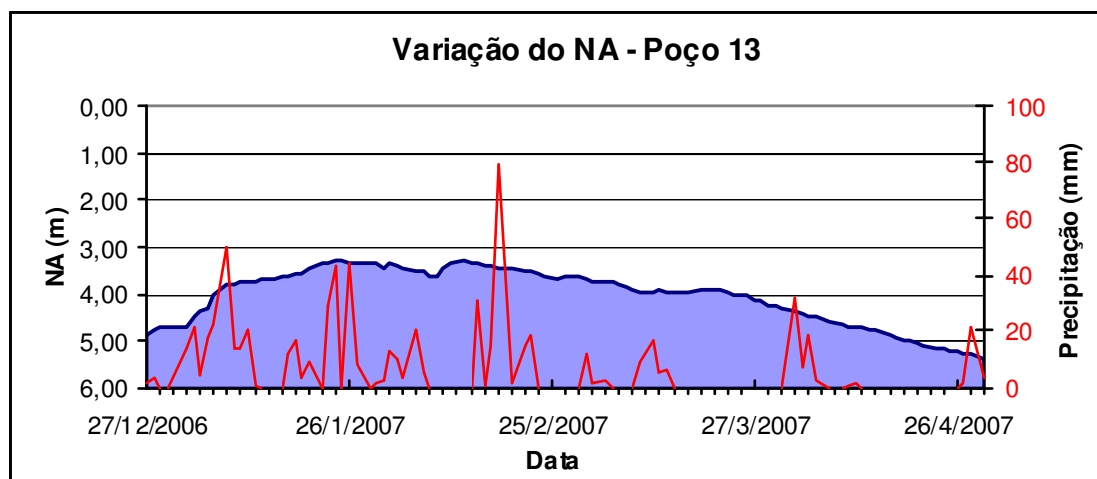


Figura 7.1.11.2-13 Variação do nível de água do poço P13 e da pluviometria.

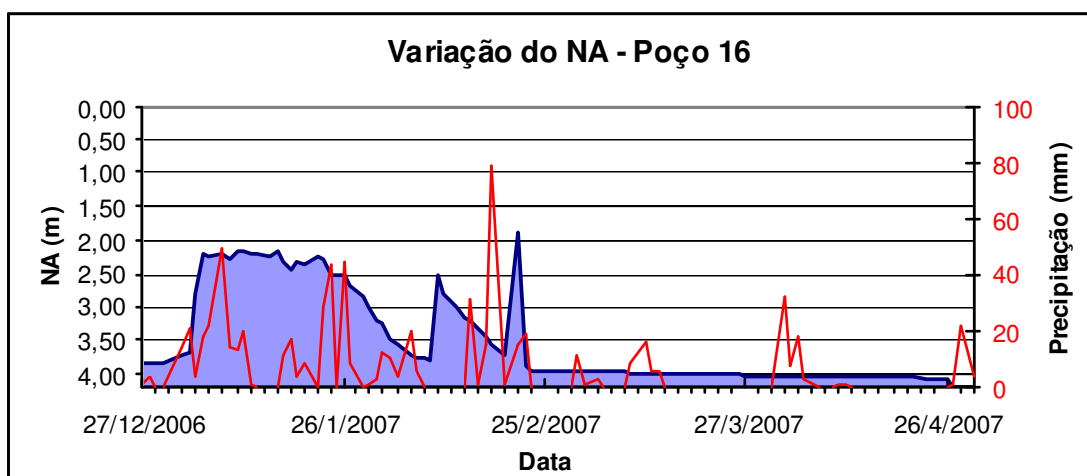


Figura 7.1.11.2-14 Variação do nível de água do poço P16 e da pluviometria.

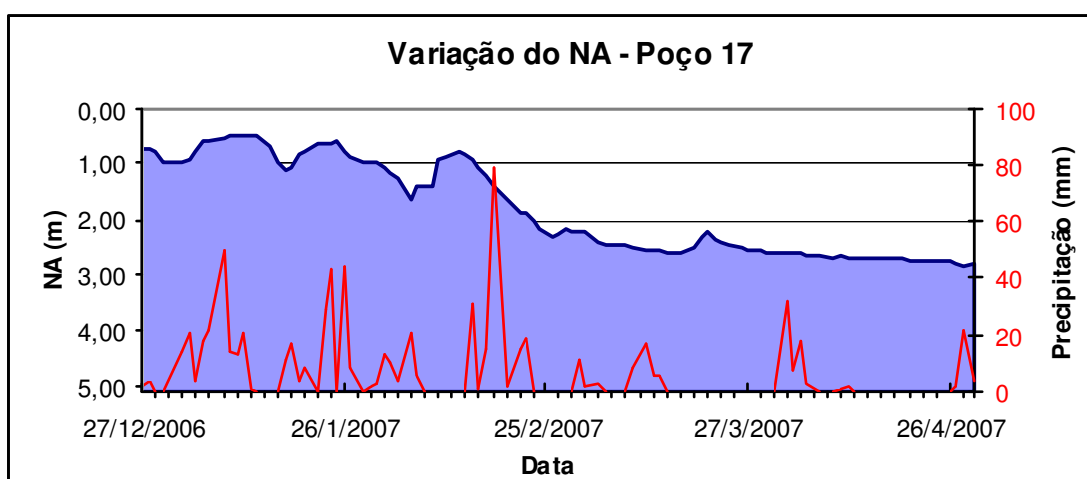


Figura 7.1.11.2-15 Variação do nível de água do poço P17 e da pluviometria.

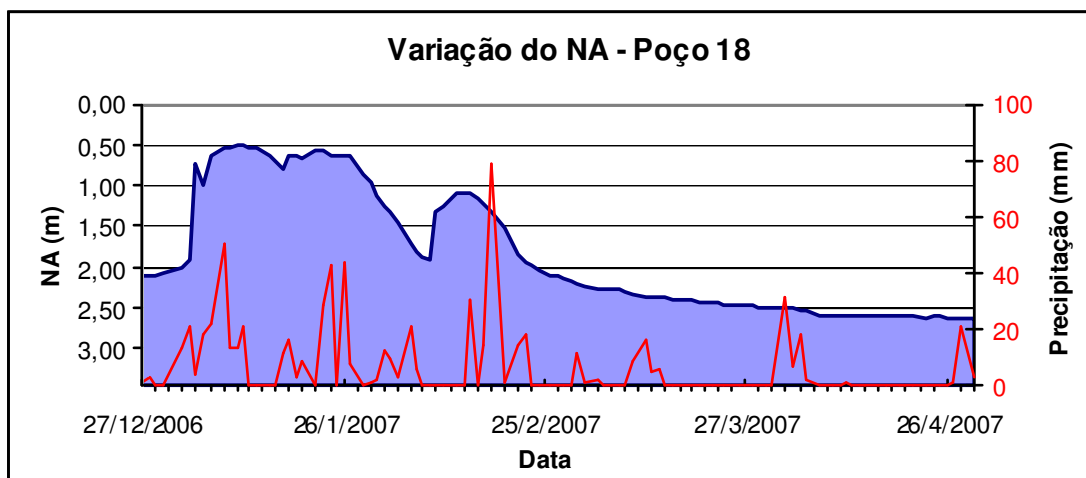


Figura 7.1.11.2-16 Variação do nível de água do poço P18 e da pluviometria.

Nota explicativa: nos gráficos, apresentados, a área em azul corresponde à coluna total de água do poço.

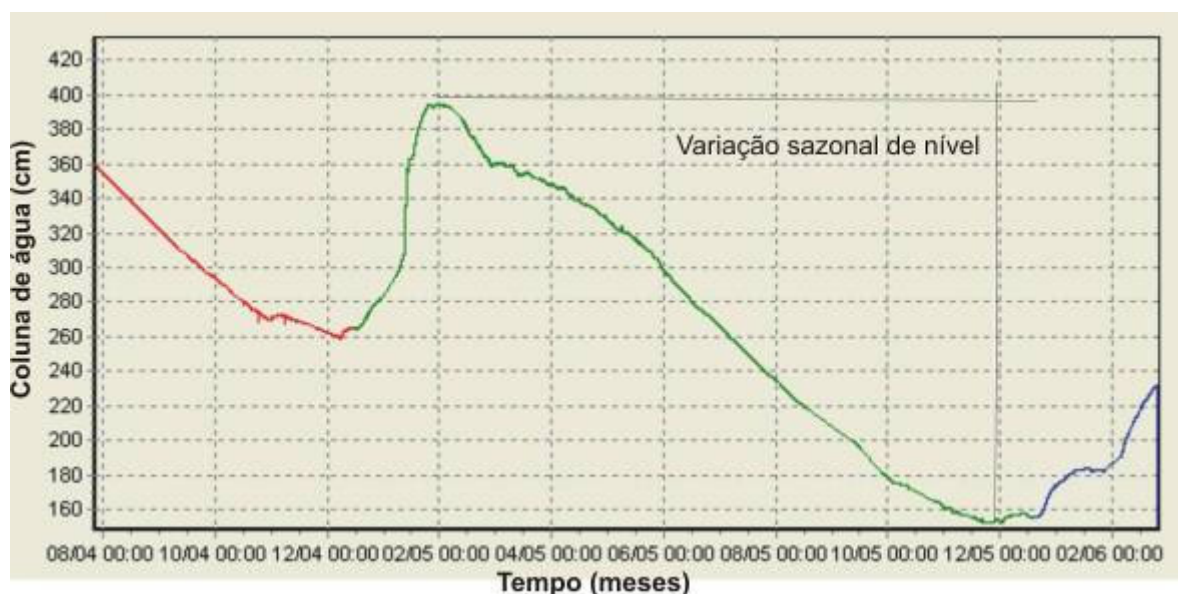


Figura 7.1.11.2-17 Variação de nível de água do Aquífero Rio Claro registrado por transdutor de pressão, em poço de monitoramento com cerca de 20 metros de profundidade localizado no Campus da UNESP de Rio Claro.

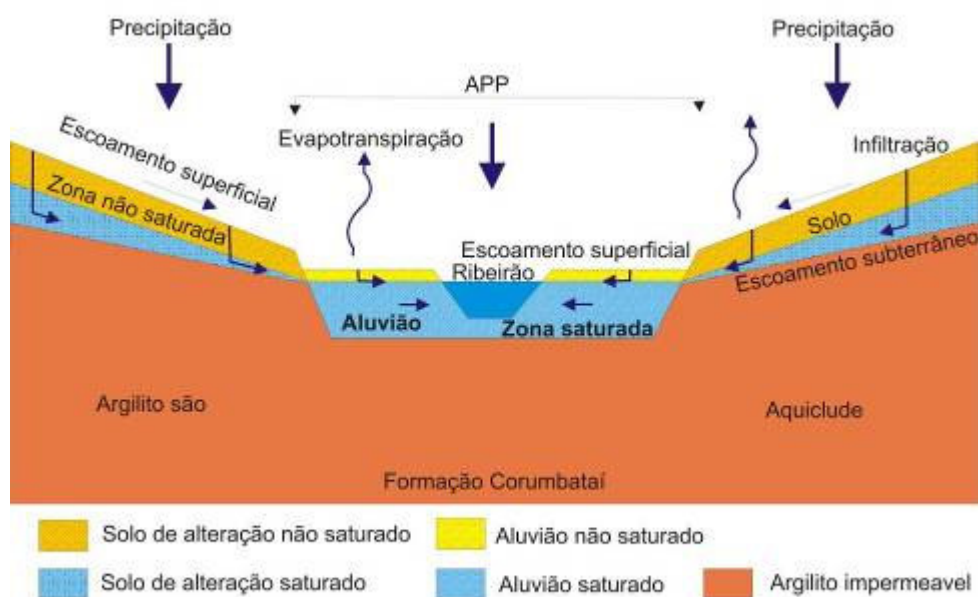
7.1.11.3 Modelo conceitual de fluxo da área do empreendimento

O modelo conceitual de fluxo subterrâneo que se aplica à área do pólo cerâmico de Santa Gertrudes é análogo ao modelo estabelecido para aquíferos freáticos conectados hidraulicamente aos cursos de água superficiais, porém, com comportamento sazonal peculiar que permite distinguir duas fases características em um ciclo anual: estação chuvosa e estação seca (**Figura 7.1.11.3-1**).

Na estação chuvosa (**Figura 7.1.11.3-1A** - situação de balanço hídrico positivo), parte das águas de precipitação atmosférica é descarregada quase instantaneamente como escoamento superficial, parte infiltra-se no solo até atingir a zona saturada e constituir o armazenamento subterrâneo, e a maior parte é consumida pelos processos de evapotranspiração. O nível freático ascende rapidamente e satura o solo de alteração que cobre o minério impermeável. Os cursos superficiais, classificados como influentes, recebem contribuição da água armazenada no solo. A configuração da superfície potenciométrica mostra ligeira concordância com a superfície topográfica do terreno, conforme constatado pelo DAEE (1976, 1979) em estudos no Estado de São Paulo.

Na estação seca (**Figura 7.1.11.3-1B** - situação de balanço hídrico negativo), as chuvas diminuem em intensidade e frequência, e a recarga de água no subsolo praticamente cessa, fazendo com que os modestos reservatórios subterrâneos tendam à exaustão e diminuam drasticamente sua contribuição para o escoamento de base. Nas altitudes mais elevadas do terreno, em locais mais distantes das zonas de descarga subterrânea, o solo pode secar completamente e interromper a contribuição para o escoamento de base. Neste cenário, somente as porções mais deprimidas do relevo, correspondentes às zonas aluvionares das drenagens superficiais, retêm água em quantidade suficiente para manter o escoamento de base e assegurar a continuidade do fluxo superficial.

A) Estação chuvosa (balanço hídrico positivo)



B) Estação seca (balanço hídrico negativo)

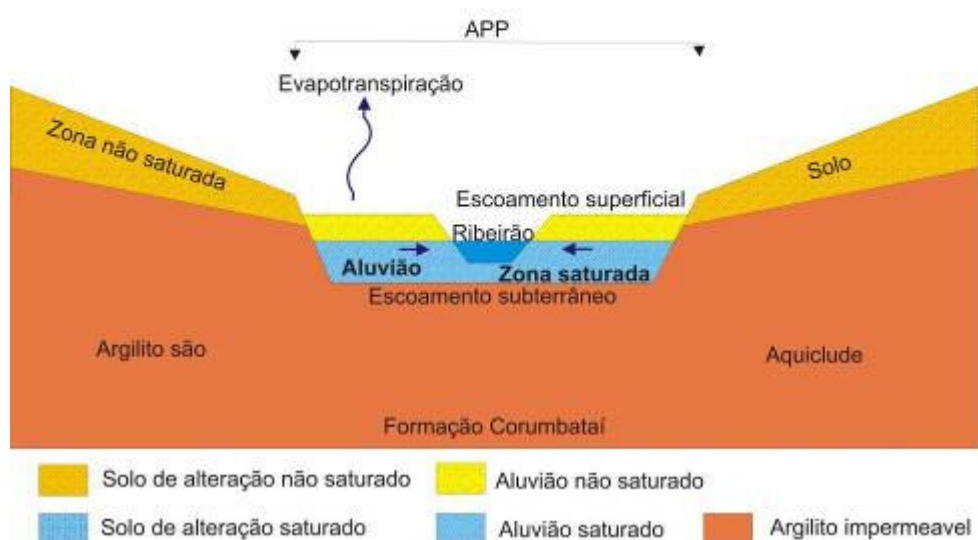


Figura 7.1.11.3-1 Modelo conceitual de fluxo da área do empreendimento mineral; A) Em situação de balanço hídrico positivo; B) Em situação de balanço hídrico negativo



O modelo conceitual de fluxo subterrâneo da área minerada foi concebido com base nas particularidades listadas a seguir:

- As características litológicas e hidráulicas do solo que recobre a Formação Corumbataí não o distinguem formalmente como um aquífero; as condutividades hidráulicas que controlam a velocidade de escoamento da água subterrânea são baixas e mostram tendência de diminuição com o aumento da profundidade e da proximidade das rochas sãs; variações, verticais e horizontais, de condutividade hidráulica favorecem o escoamento hipodêmico (fluxo subsuperficial), ao constituir barreiras hidráulicas que dificultam a percolação natural das águas de infiltração;
- Durante o período de estiagem (situação de balanço hídrico negativo), a contribuição de água subterrânea para o escoamento básico é proveniente somente das porções próximas aos cursos de água superficiais, geralmente situadas em zonas aluvionares, de topografia relativamente mais baixa em relação às áreas circunvizinhas;
- O reservatório subterrâneo formado por este solo é descontínuo e possui pequena capacidade de armazenamento de água.

7.1.11.4 Qualidade das Águas Subterrâneas

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas foi baseada nos resultados do relatório da UNESP (2006) e das amostragens de três pontos de monitoramento, realizadas no final de outubro de 2007.

O capítulo inicialmente discute a caracterização da composição físico-química das águas subterrâneas na área de estudo, contidas em UNESP (2006), e em seguida, a qualidade em relação aos padrões de potabilidade vigentes (Portaria ANVISA 518/05).

7.1.11.4.1 Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas

A água subterrânea é o produto resultante do enriquecimento mineral de águas provenientes do ciclo hidrológico (ar, superfície e solo) e de seu tempo de residência na rocha hospedeira (aquífero). Pode ainda sofrer modificações devido à influência do clima, e de contaminações pelas atividades humanas. As diferentes composições das rochas hospedeiras e dos processos de mineralização resultam na diversidade composicional dessa água.

A grande maioria das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico. Os principais constituintes iônicos, denominados também de elementos maiores são:

- ⇒ os Cátions: Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+})
- ⇒ os Ânions : Cloreto (Cl^-), Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonato (CO_3^{2-}), Nitrato (NO_3^-) e Sulfato (SO_4^{2-}).



Os constituintes secundários são em maior número, porém em concentrações inferiores a 1% em relação aos elementos maiores (CPRM 1997). Os elementos Flúor, Boro, Brometo, Manganês, Sílica, Zinco e Cobre são os mais representativos.

Os principais gases dissolvidos na água subterrânea são: O₂ dissolvido, CO₂ (gás carbônico), H₂S (gás sulfídrico) e para a água mineral, o gás Radônio – 222.

A presença dos elementos acima citados em maiores concentrações poderá definir o tipo composicional da água subterrânea, e a classificação da água subterrânea.

A avaliação hidroquímica desenvolvida por UNESP (2006) consistiu na realização de duas campanhas de amostragem de água subterrânea para análise físico-química, uma representativa dos meses mais chuvosos e outra, e de meses menos chuvosos. A primeira campanha foi realizada em fevereiro de 2005, onde foram coletadas águas nos poços P1, P3, P5, P6, P11, P17, P18, P19 e P20. A segunda campanha foi realizada no decorrer do mês de abril/ 2005, com a repetição dos pontos de amostragem da primeira campanha, somando-se àqueles, os poços P12, P13, P15 e P21, além de uma surgência localizada próxima ao P11.

As análises de amostras de água coletadas de poços de monitoramento têm a finalidade de determinar o padrão hidrogeoquímico das águas subterrâneas e de estabelecer sua relação com o meio físico, mediante a identificação e a quantificação das principais substâncias. Além disso, as análises podem ser comparadas aos padrões de referência vigentes no sentido de avaliar sua qualidade.

Os seguintes parâmetros físico-químicos foram analisados: Temperatura, Condutividade, pH, Alcalinidade, Cloretos, Fluoretos, Sulfatos, Nitrato, Sódio, Potássio, Sílica, Magnésio, Cálcio, Estrôncio, Cobalto, Manganês, Cobre, Fósforo, Zinco, Chumbo, Alumínio, Bário, Cádmio, Níquel, Ferro e Cromo.

A distribuição espacial dos poços amostrados é apresentada na **Figura 7.1.11.4.1-1**. A maioria dos poços localizam-se próximos às drenagens da área de estudo, excetuando os poços P1, P5, P6, P7, P21, P8, P4, P2.

Os poços foram perfurados com diâmetro de 4 polegadas, e revestidos com tubos de PVC de 2 polegadas, tendo o intervalo basal coberto por seção de filtro de 1 metro de comprimento. O espaço anular foi preenchido com o próprio material extraído da perfuração, exceto o intervalo anular frontal aos filtros que foi preenchido com material granular selecionado (pré-filtro). No intervalo superior, o espaço anular foi preenchido por argamassa de cimento. Na superfície, ao redor dos poços, foram construídas lajes de concreto para evitar entrada direta de águas pluviais. A profundidade máxima alcançada pelos poços foi considerada como sendo a superfície limítrofe entre as zonas de solo e de rocha sã.

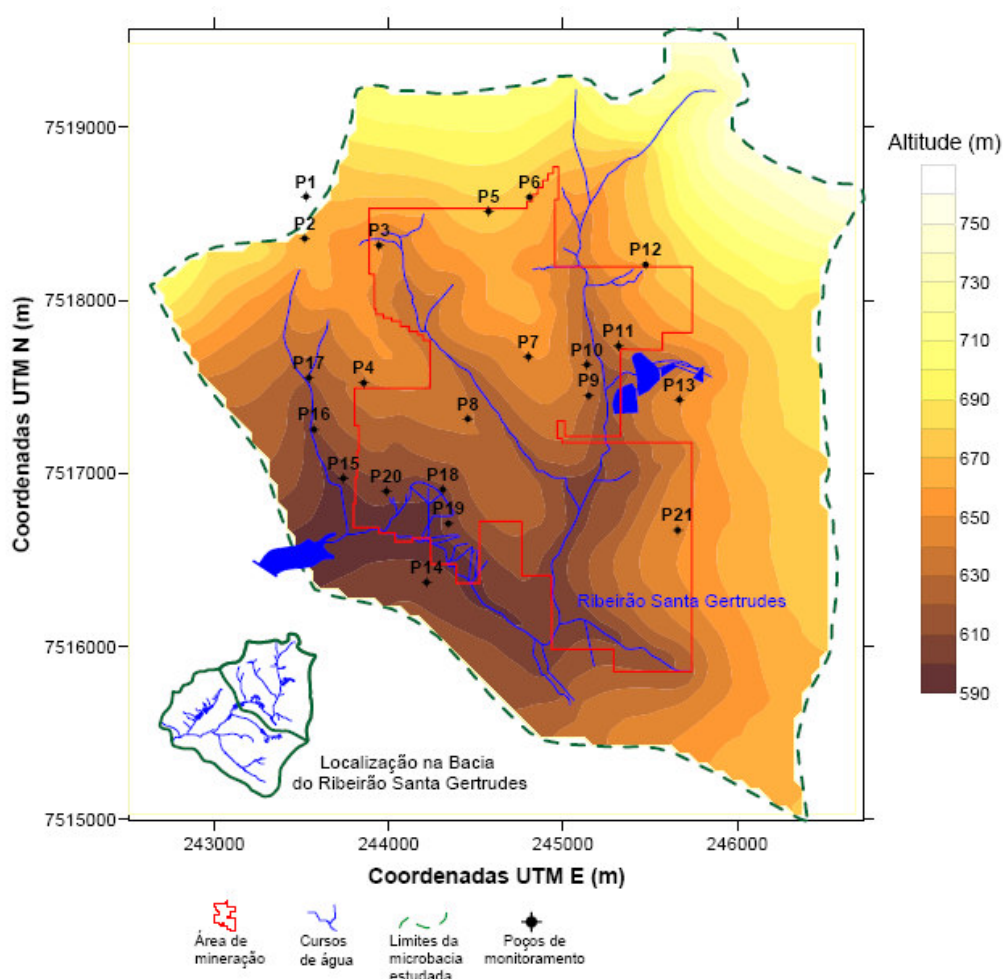


Figura 7.1.11.4.1-1 Localização dos poços de monitoramento na área de estudo (UNESP, 2006)

Os resultados das análises mostram que as águas subterrâneas apresentam-se neutras a levemente ácidas (4,0 e 6,8 em fevereiro) a neutras (entre 6,5 a 7,8 em abril), com baixa mineralização (entre 50 a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica específica). Destaca-se o poço PM 11 com valor de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira e segunda campanha (os resultados são apresentados no Anexo XI).

Os elementos catiônicos de maiores concentrações encontradas nas águas foram o cálcio (entre 2 a 20 mg/L), magnésio (entre 3 e 11 mg/L), sódio (entre 2 e 40 mg/L), potássio (entre 2 e 26 mg/L). Em relação aos ânions são encontrados em maiores concentrações a alcalinidade (entre 6 e 65 mg/L), cloreto (<1 a 118 mg/L), sulfato (<1 a 23 mg/L), nitrato (<0,05 a 15,20 mg/L) e fluoreto (0,05 a 0,24 mg/L).

O relatório da UNESP (2006) classifica as águas subterrâneas pelo Diagrama de Piper e Stiff e analisa sua variação em função do período das campanhas de amostragens.

Na primeira amostragem (fevereiro de 2005), a **Figura 7.1.11.4.1-2a** apresenta 3 grupos distintos de classificações das águas subterrâneas: (1) águas bicarbonatadas cálcicas (PM 1, PM 19 e PM 20), águas cloretadas bicarbonatadas cálcio-sódicas (ou mistas) (PM 3, PM 6, PM 17 e PM 18), e (3) águas cloretadas sódicas (PM 5 e PM 11).

Na segunda amostragem as águas analisadas em abril de 2005 apresentaram classificações mistas, indicativas da influência das águas de recarga, com exceção dos poços PM 12 e 18 (bicarbonatadas cálcicas) e PM 13 e 11 (cloretadas sódicas). Figura **Figura 7.1.11.4.1-2b**.

Os diagramas de Stiff mostram a distribuição espacial das composições químicas nos mapas da **Figura 7.1.11.4.1-3a e 7.1.11.4.1-3b**.

A diminuição das concentrações de elementos químicos e acidificação do pH das águas na maioria das amostras dos poços podem indicar a influência da recarga nas águas dos poços na segunda campanha (abril de 2005), proporcionada pelas precipitações. A anomalia do poço PM-11 pode ser antrópica, uma vez que próximo a ele localizam-se almoxarifados, oficinas e centro administrativo do pólo cerâmico (UNESP 2006).

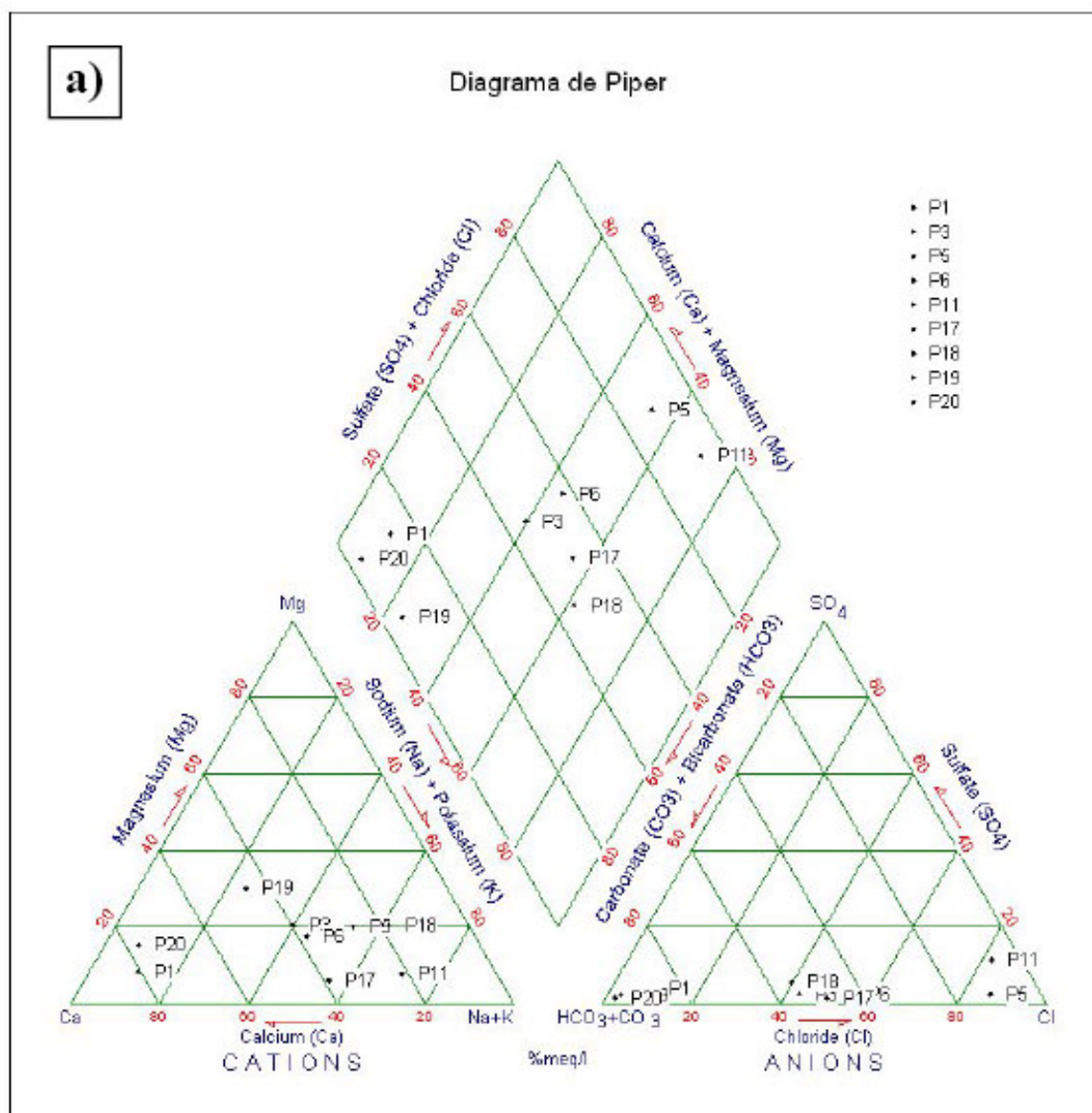


Figura 7.1.11.4.1-2a Classificação das águas subterrâneas: (a) campanha de fevereiro de 2005 (UNESP 2006)

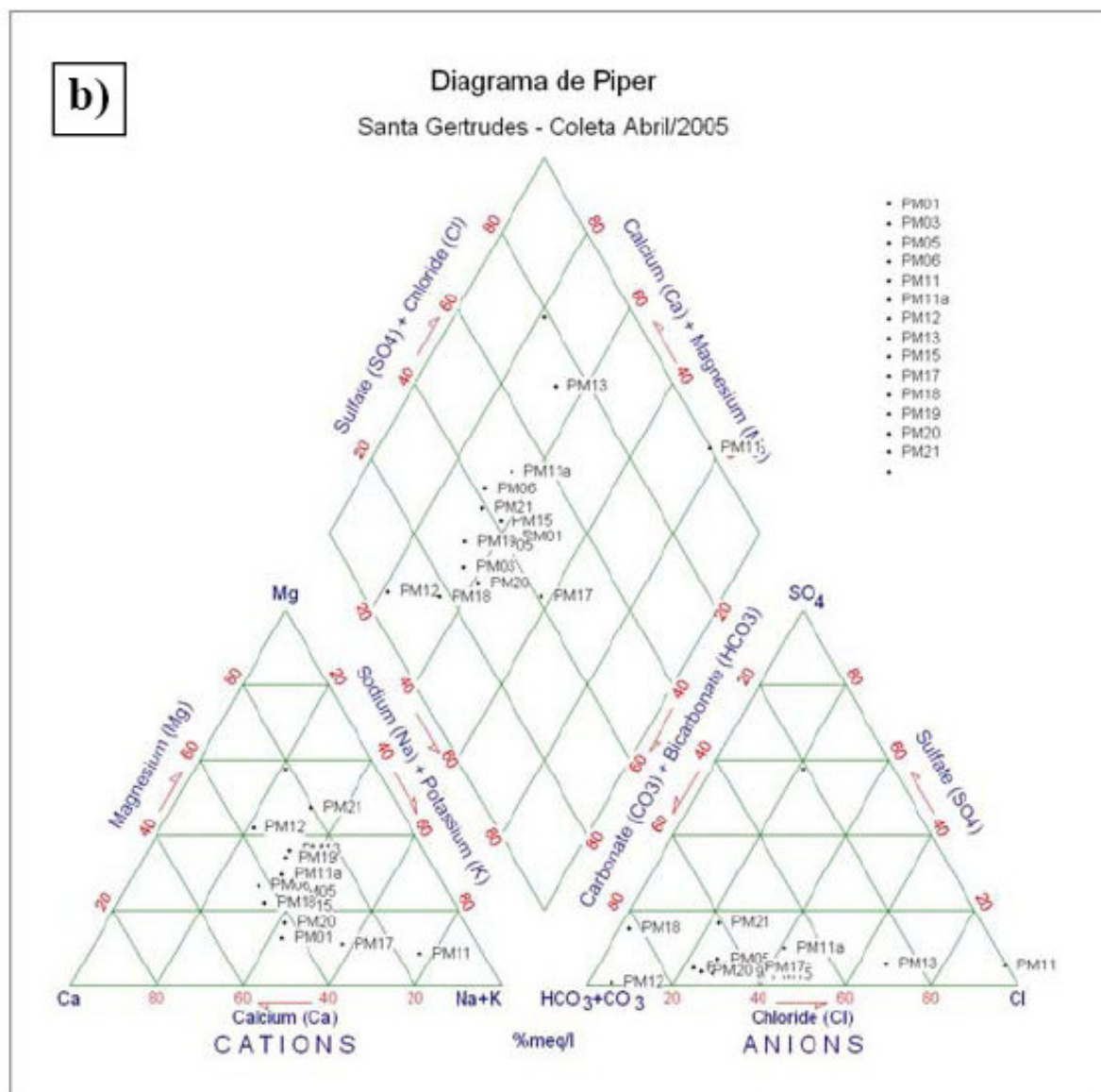
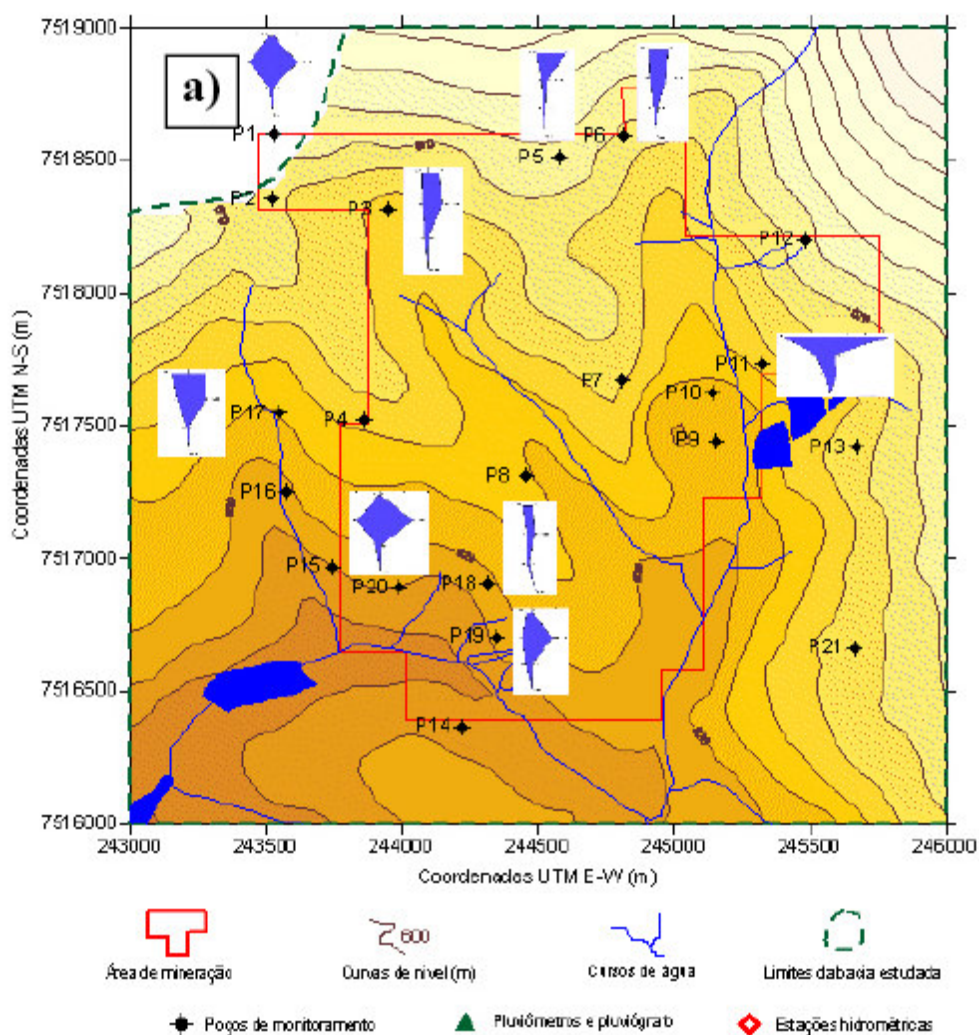
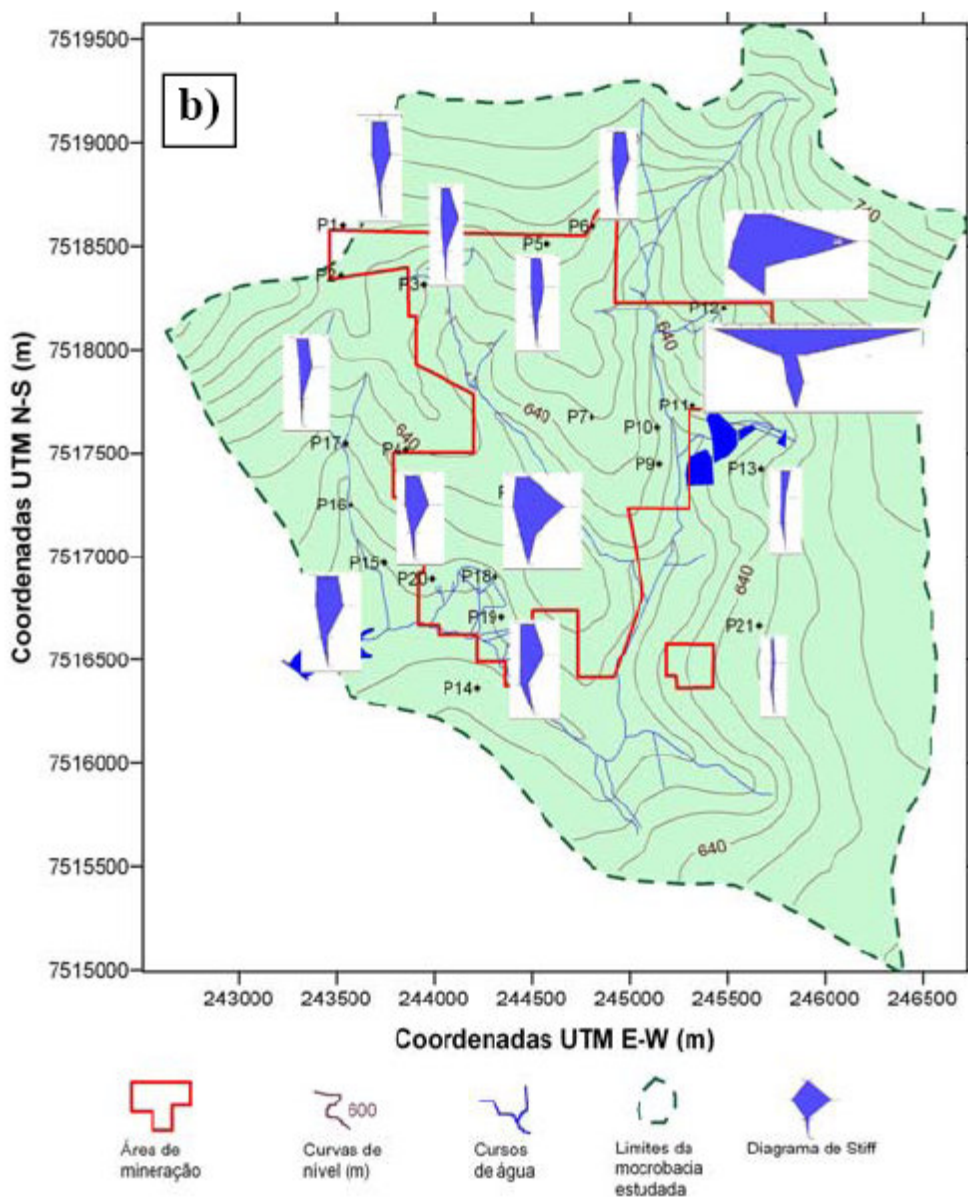


Figura 7.1.11.4.1-2b Classificação das águas subterrâneas: campanha de abril de 2005 (UNESP 2006)



Figuras 7.1.11.4.1-3a Distribuição espacial das composições químicas das águas de acordo com o Diagrama de Stiff: (a) campanha de fevereiro de 2005 (UNESP 2005)



Figuras 7.1.11.4.1-3 b Distribuição espacial das composições químicas das águas de acordo com o Diagrama de Stiff: (b) campanha de abril de 2005 (UNESP 2005)

7.1.11.4.2 Avaliação da qualidade das águas subterrâneas

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas foi feita com base nas análises físico-químicas realizadas no relatório de UNESP (2006) no ano de 2005 (duas campanhas de amostragens dos poços de monitoramento) e em 2007, com amostragens de 3 pontos na área de estudo.



As análises físico-químicas de 2005 (fevereiro e abril) foram executadas pelo Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada – DGA, UNESP, Rio Claro. Os elementos analisados já foram apresentados no item anterior.

Outra coleta das amostras foi realizada no dia 31 de outubro de 2007 pela Regea em 2 poços de monitoramento (PM 5 e PM 18) e um poço cacimba (PM 21). O relatório “Amostragem de águas subterrâneas no pólo argileiro em Santa Gertrudes, SP” pode ser visto no **Anexo XI**. As análises de outubro de 2007 foram realizadas pelo Laboratório Nova Ambi Serviços Analíticos Ltda,. (os laudos da Nova Ambi Serviços Analíticos são apresentados no **Anexo XII**).

Os parâmetros analisados foram: alcalinidade bicarbonatos e carbonatos, alcalinidade hidróxidos, boro total, Contagem Padrão Bactéria Heterotrófica, Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais e Escherichia Coli, alumínio total, antimônio total, bário total, cádmio total, cálcio total, carbono orgânico dissolvido, chumbo total, cianeto, cloreto, cobre total, condutividade elétrica, cromo total, dureza total, ferro total, fluoreto, magnésio total, manganês total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio kjedhal total, nitrogênio nitrato, nitrogênio nitrito, níquel total, pH, potássio total, sódio total, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sulfato e zinco.

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas foi feita por comparação aos valores máximos permissíveis da Portaria ANVISA 518, de 25 de março de 2004, utilizada como padrão de referência dessas águas.

Uma primeira avaliação da qualidade das águas subterrâneas foi baseada nos relatórios encontrados em UNESP (2006). Em relação aos elementos inorgânicos listados na Portaria, os elementos acima dos valores máximos permissíveis estão apresentados no **Quadro 7.1.11.4.2-1**.

Quadro 7.1.11.4.2-1 Elementos inorgânicos acima dos valores máximos permissíveis (Portaria 518/ 2004) em UNESP, 2006

Parâmetros	Valores máximos permissíveis (VMP) – mg/L	Poços de monitoramento com parâmetros acima do VMP (entre parênteses os valores encontrados em mg/L)
Manganês	0,1	Fevereiro 2005 – PM 1 (0,260), P M3 (0,121), PM 5 (0,224), PM 6 (0,383), PM 11 (2,600), PM 17 (0,174), PM 19 (0,597), PM 20 (0,454). Abril 2005 – PM 1 (0,180), PM 5 (0,440), PM 6 (0,300), PM 11 (2,280), PM 12 (7,900), PM 15 (0,300), PM 17 (0,120), PM 18 0,610), PM 19 (0,160), PM 20



Parâmetros	Valores máximos permissíveis (VMP) – mg/L	Poços de monitoramento com parâmetros acima do VMP (entre parênteses os valores encontrados em mg/L)
		(0,190).
Chumbo	0,01	Fevereiro 2005 – PM 17 (0,063) Abril 2005 – PM 1 (0,010), PM 3 (0,013), PM 6 (0,016), PM 17 (0,023), PM 20 (0,029)
Ferro	0,3	Fevereiro 2005 – PM 11 (0,880) Abril 2005 – PM 11 (1,450)
Alumínio	0,2	Abril 2005 – PM 11 (0,240)

Os elementos acima dos valores máximos permissíveis como o Manganês e Ferro, podem ser de origem natural devido a presença desses elementos na natureza e nos tipos de rocha encontrados na região (basaltos e sedimentos da Formação Corumbataí). O alumínio também pode ser resultado de uma maior lixiviação do solo liberando esse elemento nas águas.

O elemento chumbo é encontrado acima dos padrões máximos permissíveis em 5 poços de monitoramento em abril de 2005 e um poço em fevereiro de 2005. As águas de infiltração do período das chuvas, mais ácidas, parecem mobilizar o elemento, assim como os demais na tabela para as águas subterrâneas.

Deste modo, as águas analisadas não podem ser classificadas como potáveis pela presença dos elementos citados acima dos valores máximos permissíveis.

A análise das águas dos poços executadas recentemente pela Nova Ambi (31/10/2007) para os poços cacimba, PM 5 e PM 18 apresentaram não conformidades de acordo com o **Quadro 7.1.11.4.2-2**.

Quadro 7.1.11.4.2-2 Elementos microbiológicos e inorgânicos acima dos valores máximos permissíveis (Portaria 518/ 2004) – 31 de outubro de 2007

Parâmetros	Valores máximos permissíveis (VMP)	Poços de monitoramento com parâmetros acima do VMP (entre parênteses os valores encontrados em mg/L para Al, Pb e Fe)
------------	------------------------------------	---

Contagem Padrão de Bactéria heterotrófica (NMP/ 100 mL) Coliformes termotolerantes (NMP/ 100 mL) Coliformes totais (NMP/ 100 mL) Escherichia Coli (NMP/ 100 mL)	ausência	PM 5 (3,4 x 10e5; 1,0 x 10e1; 2,4 x 10e4; 1,0 x 10e1) PM 18 (3,1 x 10e3; 8,4 x 10e1; 9,2 x 10e4; 8,4 x 10e1) e CACIMBA(2,8 x 10e3; 1,8 x 10e3; 2,1x 10e3; 1,8 x 10e3).
Alumínio	0,2	PM 5 (1,690), PM 18 (0,740)
Chumbo	0,01	PM 18 (0,025)
Ferro	0,3	PM 5 (0,580), PM 18 (0,360)

As amostras de água subterrânea dos poços coletados apresentaram não conformidades nos parâmetros microbiológicos, alumínio, chumbo e ferro. Em relação aos parâmetros microbiológicos esses podem ser resultados de contaminação na hora da coleta, pois é necessária uma grande esterilização dos equipamentos e dos poços. A presença de microbiologia naqueles locais pode ser previsível, uma vez que os poços estão em área descoberta e sujeitos a intempéries e não são limpos periodicamente como poços de uso para abastecimento humano.

No entanto a presença de Coliformes Termotolerantes e Escherichia coli, indicativos de presença de proximidades de esgotos ou contaminação fecal são ocorrências passíveis de atenção, principalmente na cacimba onde os valores estão bem maiores. De acordo com Cetesb (www.cetesb.sp.gov.br, acesso dezembro/ 2007) as bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os generos Klebsiella, Escherichia, Serratia, Erwenia e Enterobactéria. Todas as bactérias coliformes são gran-negativas manchadas, de hastes não esporuladas que estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo.

O uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme "total", porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.



A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, desenteria bacilar e cólera.

A presença de alumínio pode indicar lixiviação das águas de infiltração no solo, e ferro também pode ser atribuído como ocorrência natural.

A presença de chumbo, elemento de alta toxicidade, acima dos padrões parece ser recorrente e pode ter causas naturais, por aparecerem dispersos espacialmente em poços de monitoramento, mas também não se pode descartar que pode ser indicativo de contaminação por atividades industriais.

Segundo LEBAC (2006) os valores anômalos encontrados no poço P-11, pode m ser indícios de contaminação por ação antrópica, em razão de ter apresentado altas concentrações de cloreto e de sódio, e uma vez que está localizado nas proximidades de almoxarifados, oficinas e centro administrativo do pólo cerâmico.

Assim, estudos de maior detalhamento podem ser recomendados para analisar as causas (naturais ou artificiais) dessa ocorrência do chumbo em valores acima do padrão nas águas subterrâneas dessa localidade, bem como nas proximidades do poço PM 11.

Em síntese, as águas subterrâneas apresentam variação sazonal em termos composicionais, em que as águas subterrâneas no período de estiagem apresentam-se mais mineralizadas e com composição química distintas, como bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcio – sódicas. No período de chuvas, a composição se modifica, tornando-se menos mineralizadas, devido as águas de recarga e com características mistas, com exceção das águas dos poços PM 11, PM 12, PM 13 e PM 18.

Em relação à qualidade das águas, não são potáveis, com presenças acima do valor máximo permissível para Alumínio, Ferro, Manganês, bacteriologia e chumbo.

A presença de alumínio, chumbo, ferro e manganês pode ter ocorrência natural, no entanto, quanto aos dois últimos parâmetros, esses podem indicar presença de contaminação fecal ou proximidade de esgotos (fossas) e o chumbo, contaminação por atividades humanas. Os valores anômalos encontrados no PM 11 também pode ser indícios de contaminação por atividade humana devido a proximidades do poço com oficinas, almoxarifados, e centro administrativo do pólo cerâmico.

7.1.11.5 Captação de água subterrânea no Município de Santa Gertrudes

O sistema de abastecimento público de água potável do Município de Santa Gertrudes é composto por uma estação de captação e tratamento de águas superficiais no ribeirão Santa Gertrudes, pertencente à Bacia do Rio Corumbataí, e por 4 poços tubulares profundos que extraem água subterrânea do Sistema Aquífero Tubarão, composto pelos aquíferos Tatuí e Itararé (**Figura 7.1.11.5-1**).



De acordo com informações da Secretaria Municipal de Saneamento de Santa Gertrudes, o sistema de captação superficial extrai vazão média anual de 180 m³/h, próxima do limite máximo recomendado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, com base no Q_{7,10} regionalizado, que é de 187 m³/h. Nos meses de maior consumo (meses quentes), que compreende de novembro a março, a vazão de captação pode alcançar picos de 250 m³/h, facilmente supridos em razão da maior precipitação ocorrente no período.

O sistema de captação de águas subterrâneas conta atualmente com 4 poços tubulares profundos com profundidades que variam de 280 a 350 metros e vazões de teste entre 15 e 57 m³/h (**Quadro 7.1.11.5-1**). Em conjunto, estes poços possuem potencial para produção de 136 m³/h ou 2.720 m³/dia, considerando regime operacional de 20 horas diárias de bombeamento como estabelecem as normas de utilização de recursos hídricos subterrâneos, sem necessidade de tratamento convencional da água extraída. Estes sistemas alternativos de captação auxiliam setores específicos da cidade, onde a oferta de água tratada é reduzida. A qualidade físico-química da água extraída dos poços atende aos padrões de potabilidade da Portaria 518, com exceção do teor de flúor que varia de 1,1 a 2,0 mg/L; a mistura de água subterrânea com a água superficial tratada, durante o processo de distribuição, reduz estes teores para os limites legais permitidos.

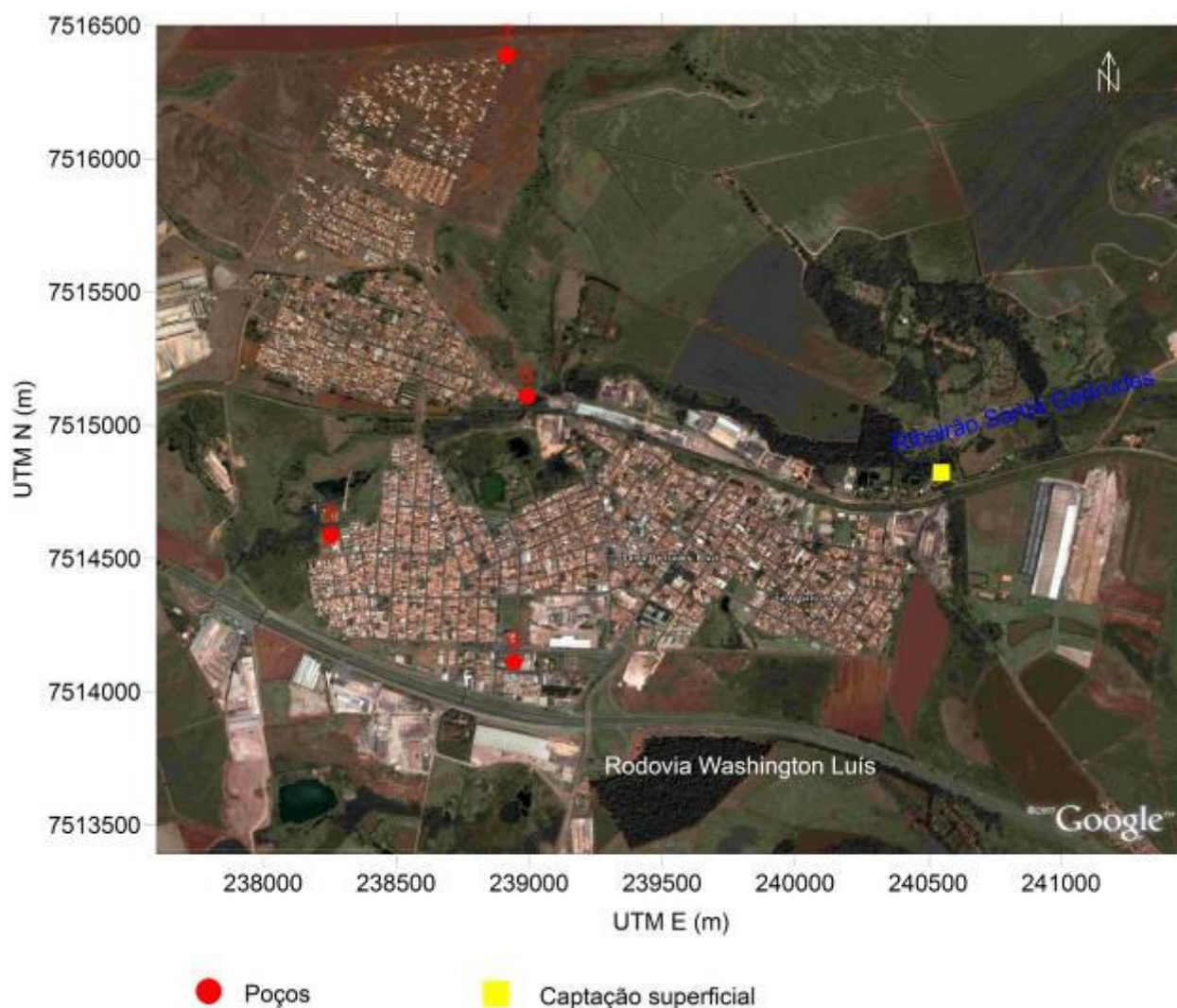


Figura 7.1.11.5-1 – Localização dos sistemas superficial e subterrâneos de captação de água para abastecimento público de Santa Gertrudes.



Quadro 7.1.11.5-1 – Poços profundos explorados para abastecimento público de Santa Gertrudes.

Poço	Nome	Coordenadas UTM		Altitude (m)	Profundidade (m)	Vazão Teste (m³/h)
		X (m)	Y (m)			
5	Paineiras	238991	7515110	574	350	44
6	Luciana	238942	7514112	611	281	20
7	Jequitibás	238916	7516389	621	280	15,2
8	Iporanga	238254	7514589	583	311	57
Total						136,2

Com os sistemas de captação implantados atualmente e com base nos dados apresentados, as disponibilidades totais de água para abastecimento público de Santa Gertrudes alcançam 293 m³/h (média em 24 horas). A vazão média diária de água necessária para abastecer a população atual de Santa Gertrudes, estimada em 19.913 habitantes (IBGE, dados disponíveis em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>, 2007), é calculado em 156 m³/h ou 3.735 m³/dia, considerando-se consumo per capita de 150 litros/habitante/dia e coeficiente de 1,25 para o dia de maior consumo. Considerando-se as perdas totais do sistema, da ordem de 42% (informação da Secretaria Municipal de Saneamento), a demanda hídrica atual alcança 221 m³/h. Neste cenário, existe superávit de água de 72 m³/h, ou seja, de 33% sobre a demanda atual de água.