

VOLUME 6

Análise Qualitativa

5.2 SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS

A degradação ambiental nestas sub-bacias é devida, principalmente, à exploração do carvão mineral. Por este motivo, os resultados obtidos nas estações de amostragem, localizadas nestas sub-bacias, serão discutidos em conjunto.

Os conflitos decorrentes dos impactos ambientais produzidos pelos efluentes da mineração e beneficiamento do carvão mineral sobre a qualidade das águas destas sub-bacias comprometem os usos da água, tanto para as comunidades locais, que vivenciam os conflitos, como para a Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão como um todo, já que os problemas de poluição que ocorrem nas nascentes, prejudicam as demais atividades à jusante desenvolvidas na bacia (BENDER, 1998).

Cabe salientar que o Rio Tubarão inicia-se na altura da cidade de Lauro Müller, após a confluência dos rios Rocinha e Bonito, seus formadores, que nascem na Serra Geral, no limite entre os Municípios de Lauro Müller e Bom Jardim da Serra.

Os principais usos da água nestas sub-bacias estão relacionados ao abastecimento público, recepção de efluentes domésticos, gerados pelos Municípios de Lauro Müller e Siderópolis, abastecimento e recepção de efluentes líquidos provenientes da mineração/ beneficiamento do carvão mineral e agropecuária.

Para uma melhor compreensão das condições ambientais das águas influenciadas pelas atividades de mineração e beneficiamento do carvão mineral, é oportuno comentar a respeito do processo poluidor nas regiões carboníferas, conforme descrito por BENDER (1998).

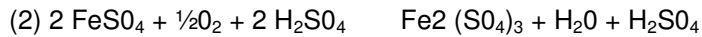
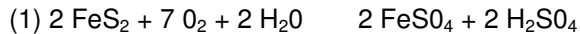
Os problemas de poluição hídrica nas regiões carboníferas são qualitativamente similares em todos os locais de lavra e beneficiamento e se devem, na maior parte, à oxidação da pirita (FeS_2 - sulfeto de ferro) que ocorre associada ao carvão e que, quando exposta ao ar e à umidade, se oxida, gerando ácido sulfúrico e compostos de ferro que acabam sendo, de alguma forma, carregados até os cursos d'água.

As águas sulfurosas procedem diretamente das minas de sub-solo (drenagem), dos processos de beneficiamento e da disposição de rejeitos. A drenagem e a água de infiltração levam combinações de enxofre para as águas superficiais.

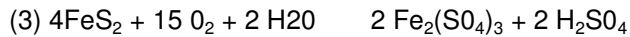
Existem dois tipos principais de resíduos, o material estéril e o rejeito do beneficiamento. O material estéril, removido para atingir o minério, é depositado em pilhas localizadas nas proximidades da mina. A principal característica deste material é a heterogeneidade do tamanho das partículas, variando desde frações argilosas até blocos de vários metros (SHINOBE, SRACEK, 1998). Esta heterogeneidade resulta em alta permeabilidade na pilha de estéril até a base. O outro tipo de resíduo de mina é o rejeito do beneficiamento, resultante do tratamento do minério. Este tipo de material é britado e moído antes do tratamento, resultando em grãos relativamente pequenos, do tamanho silte (SHINOBE, SRACEK op cit.). Na mineração, tanto no caso do estéril como no do rejeito, a oxidação da pirita é responsável pela geração de acidez.

Tão logo a pirita entra em contato com o oxigênio e a água, inicia-se o processo de oxidação. Para tanto, bastará o oxigênio atmosférico e a umidade contida no ar, bem como o oxigênio dissolvido nas águas subterrâneas ou superficiais. A primeira etapa da oxidação é a transformação em sulfato ferroso e ácido sulfúrico, a qual ocorre em presença de pouco oxigênio (equação 1). O ferro, presente na forma bivalente e hidrossolúvel, revela-se pela sua coloração esverdeada e é, então, oxidado a sua forma trivalente e insolúvel, uma reação relativamente lenta, que pode ser catalisada pela bactéria *Thiobacillus Ferrooxidans* (equação

2), como acentua o Instituto de Biociências da UFRGS (1978).



Sob condições especiais, por exemplo durante fases de altas concentrações de oxigênio, principalmente em águas superficiais, a primeira etapa da reação pode conduzir ao sulfato de ferro III.



Quando a concentração de ácido sulfúrico diminui na água, o ferro é hidrolisado, formando-se hidróxido de ferro III (equação 4).



Na dependência do pH, o ferro pode estar presente na forma de hidróxido de ferro III ou de óxido de ferro III. Estas substâncias geram uma cobertura castanho-amarelada na superfície do substrato nas águas superficiais poluídas (foto 1). A cor amarelada típica dos rios que sofrem os efeitos dos rejeitos ou da lavagem do carvão é decorrência da precipitação do ferro insolúvel.

Se o pH é acima de 3,0, pode haver a precipitação de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Por outro lado, se o pH é menor que 3,0 e o ferro trivalente encontra-se em contato com a pirita não oxidada, este ferro trivalente é consumido pela oxidação da pirita, por se tratar de um forte oxidante. Isto significa que o oxigênio é somente necessário para se iniciar a oxidação da pirita. Contudo, se um acúmulo de resíduos de mina apresentar altas quantidades de Fe^{3+} de períodos de oxidação anteriores, então a oxidação da pirita ocorrerá por um longo período de tempo, mesmo se não houver mais oferta de oxigênio (SHINOBE e SRACEK, 1998, apud BENDER, 1998). Todas as etapas de oxidação da pirita podem se dar tanto em pilhas de estéril como em bacias de rejeito.

FOTO 4 - COBERTURA CASTANHO-AMARELADA NOS SEIXOS DO LEITO DO RIO ROCINHA, 1998. Empréstimo de M. Bender



De acordo com GOTHE (1993) in BENDER (1998), equações são úteis para ilustrar a produção de acidez pelos materiais piritosos, contudo podem dar a impressão de que apenas compostos de ferro e ácido sulfúrico estejam presentes. Na verdade, reações secundárias ocorrem entre os sulfatos, ácidos e demais compostos presentes nas argilas, calcários, arenitos, siltitos, folhelhos e outros estratos que, em geral, sempre se encontram associados à camada de carvão mineral.

A partir destas reações há liberação de elementos ditos traços ou menores, pois

aparecem em concentrações pequenas, da ordem de partes por milhão (ppm) na composição do carvão. A tabela 15 apresenta as concentrações dos elementos menores para o carvão CE 4500.

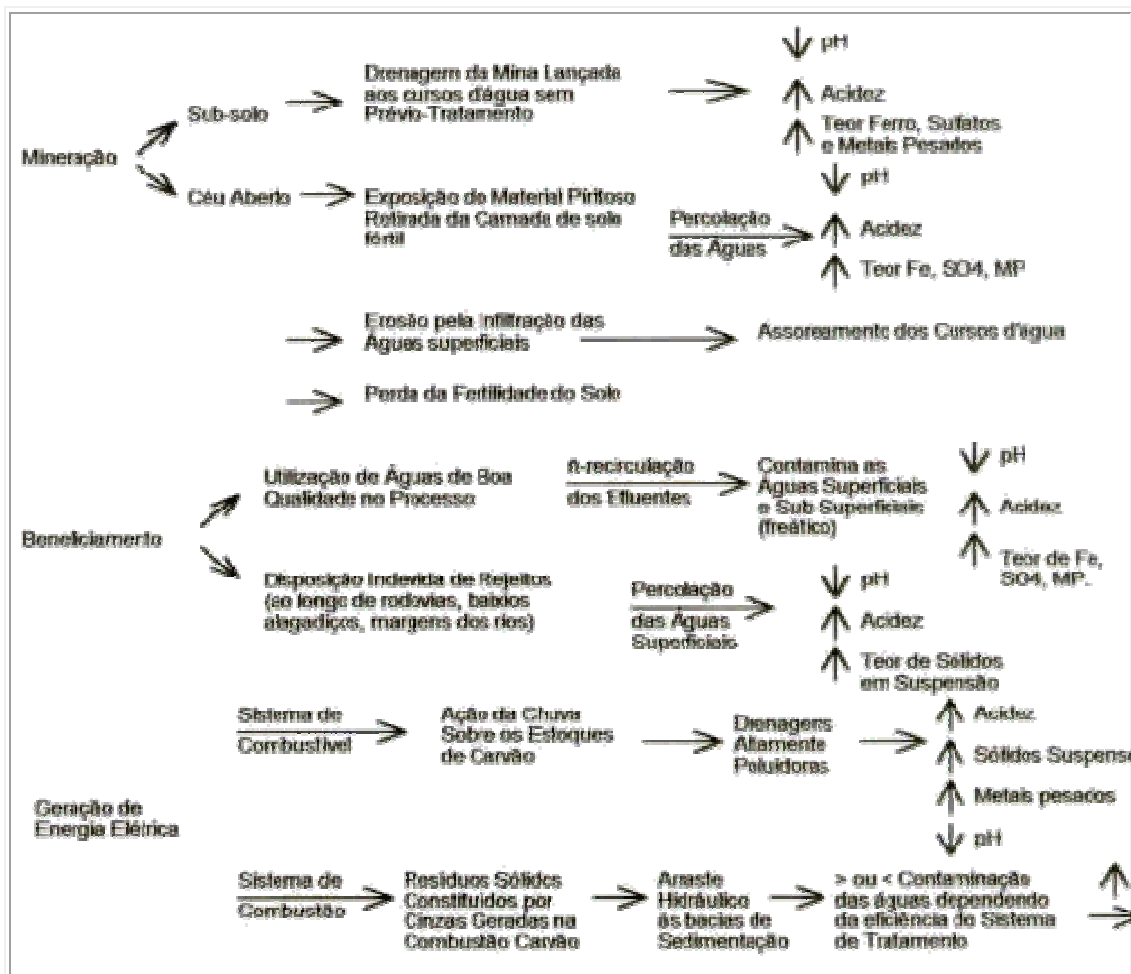
TABELA 15 - CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS MENORES (EM PPM OU % QUANDO INDICADO)

Elementos	CE-4500	Elementos	CE-4500
Alumínio %	5,2	Potássio	9100
Arsênio	2,8	Magnésio	1700
Ouro	0,05	Manganês	124
Boro	43	Sódio	730
Bário	7	Níquel	30
Berílio	7	Chumbo	48
Bromo	30	Enxofre %	2,5
Cálcio	4300	Selênio	11
Cádmio	0,9	Antimônio	0,78
Cloro	320	Tório	25
Cobalto	10	Titânio	3900
Cromo	74	Zinco	217
Cobre	32	Urânio	2,5
Ferro %	2,9	Vanádio	120
Merúrio	0,05		

Fonte : FUNDATEC, 1987

Resumidamente, são aqui apresentados, de forma esquemática, os principais problemas associados à mineração, ao beneficiamento e aos usos do carvão mineral nos recursos hídricos (figura 6).

FIGURA 6 - PRINCIPAIS PROBLEMAS ASSOCIADOS À MINERAÇÃO, AO BENEFICIAMENTO E AOS USOS DO CARVÃO MINERAL NOS RECURSOS HÍDRICOS.



Fonte: BENDER, 1998.

Para a avaliação da qualidade das águas superficiais nas sub-bacias do Rio Bonito, do Rio Rocinha e do Rio Palmeiras, foram locadas 2 estações de amostragem em cada uma das sub-bacias. Na do Rio Oratório, foram coletadas amostras em 4 estações de amostragem. As estações foram situadas à montante e à jusante das atividades de mineração e beneficiamento do carvão mineral. As estações de amostragem e suas localizações estão expressas na tabela 16 e mapa 4.

TABELA 16 - COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS

Estações de Amostragem	Coordenadas Geográficas (UTM)
RB 01	650871 m E; 6854222 m N
RB 02	656960 m E; 6857898 m N
RR 03	647797 m E; 6857794 m N
RR 04	656989 m E; 6858007 m N
RO 05	652446 m E; 6861818 m N
RO 06	652113 m E; 6862028 m N
RO 07	660879 m E; 6861837 m N
RO 08	660773 m E; 6861875 m N
RP 17	671998 m E; 6854071 m N

Fonte: UNISUL

A estação de amostragem designada por RB01 situa-se no Rio Bonito, sobre uma ponte de madeira para passagem de pedestres, à montante da poluição provocada pela mineração do carvão. Representa as características naturais da área, uma vez que não são conhecidas fontes de poluição nas nascentes deste rio. Foi considerada o ponto branco, ou seja, a referência para as demais estações de amostragem para fins de interpretação nesta sub-bacia.

A estação de amostragem designada por RB02, situa-se nas proximidades da foz do Rio Bonito, na área urbana do Município de Lauro Müller, à montante da confluência com o Rio Rocinha. Sofre influência da mineração de carvão e esgotos domésticos.

A estação de amostragem RR03 localiza-se no Rio Rocinha, próximo à primeira porteira, à montante da poluição provocada pela mineração e beneficiamento do carvão. Representa as características naturais da área e foi considerada o ponto branco, ou seja, a referência para as demais estações de amostragem para fins de interpretação nesta sub-bacia.

A estação de amostragem RR04 situa-se nas proximidades da foz do Rio Rocinha, sobre a ponte de madeira, na área urbana do Município de Lauro Müller, à montante da confluência com o Rio Bonito. Sofre influência da mineração de carvão e esgotos domésticos.

A estação de amostragem RO05 situa-se no Rio do Rastro, sobre a ponte de madeira, à montante da confluência com o Rio Oratório. Sofre influência de mineração de argila, esgotos domésticos e rejeitos da mineração /beneficiamento do carvão proveniente da localidade de Guatá. A estação de amostragem RO06 localiza-se no Rio Oratório, à montante da confluência com o Rio do Rastro. Representa as características naturais da área, uma vez que não são conhecidas fontes de poluição nas nascentes deste rio. Foi considerada o ponto branco, ou seja, a referência para as demais estações de amostragem para fins de interpretação nesta sub-bacia.

A estação de amostragem RO07 situa-se nas proximidades da foz do Rio Oratório, à montante da confluência com o Rio Capivaras e objetiva avaliar a influência da mineração de argila e de carvão.

A estação de amostragem RO08 situa-se nas proximidades da foz do Rio Capivaras, à montante da confluência com o Rio Oratório e objetiva avaliar a influência da mineração de carvão e suinocultura.

A estação de amostragem RP17 situa-se nas proximidades da foz do Rio Armazém, à montante da confluência com o Rio Palmeiras, próximo a localidade de Pindotiba. Representa as características naturais da área, uma vez que as nascentes da sub-bacia do Rio Palmeiras estão poluídas pela mineração a céu aberto. Assim, esta estação foi considerada o ponto branco, ou seja, a referência para as demais estações de amostragem para fins de interpretação nesta sub-bacia.

A estação de amostragem RP18 localiza-se no Rio Palmeiras, cerca de 1 Km à jusante da cascata, nas proximidades da antiga Hidrelétrica de Pindotiba, à montante da confluência com o Rio Tubarão. Recebe toda a contribuição proveniente da mineração de carvão em suas nascentes, além da poluição oriunda da suinocultura e das lavouras.

Os resultados das análises realizadas em março de 1998 são apresentados na tabela 17.

Os cursos d'água das sub-bacias do Rio Bonito, do Rio Rocinha e do Rio Oratório à montante da curva hipsométrica de 500 metros estão enquadrados pela Portaria GAPLAN 024/79 como classe 1, à jusante desta cota como classe 2. De acordo com esta legislação, os cursos d'água da sub-bacia do Rio Palmeiras são considerados como classe 2.

As estações de amostragem estão todas situadas à jusante da cota de 500 metros; isto significa que as águas coletadas para análise estão enquadradas como classe 2, com os usos pretendidos e limites fixados pela Portaria MINTER 013/76, que são coincidentes com o Decreto Estadual 14.250/81.

A figura 7 apresenta a variação de pH nas sub-bacias influenciadas pela mineração/beneficiamento do carvão mineral, cujos valores estão situados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86, com exceção dos observados nas estações RB02, RR04 e RP18 que correspondem, respectivamente, aos rios Bonito, Rocinha e

Palmeiras à jusante da área degradada pela mineração. Nestas sub-bacias, observa-se a diminuição abrupta no valor do índice de pH, de montante para jusante, com reflexos na concentração de metais.

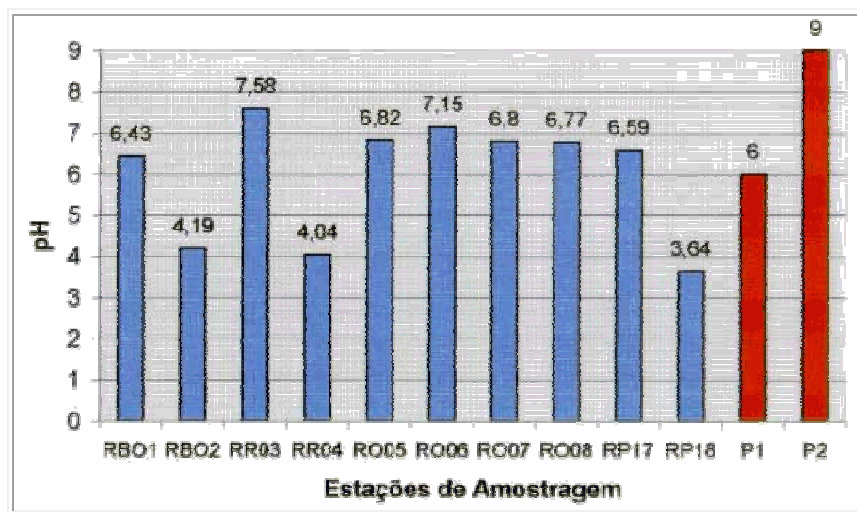
MAPA 4: QUALIDADE DAS ÁGUAS NAS SUB-BACIAS DO RIO ROCINHA, DO RIO BONITO, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS.

TABELA 17 - RESULTADOS OBTIDOS PARA AS AMOSTRAS DAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS, ANALISADAS PELA UNISUL

Parâmetros	RB 01	RB 02	RR 03	RR 04	RO 05	RO 06	RO 07	RO 08	RP 17	RP1 8	CONAMA 20/86	DEC. EST.1425/81
Data da Coleta	31/03	31/03	31/03	31/03	31/03	31/03	31/03	31/03	31/03	31/03		
Temp. da Água (°C)	19,9	21,08	19,7	21,3	19,3	19,2	20,0	20,0	20,7	20,8	-	-
Temp. do Ar (°C)	26,7	24,9	21,5	24,9	19,4	19,8	NR	20,9	20,1	NR	-	-
pH	6,43	4,19	7,58	4,04	6,82	7,15	6,8	6,77	6,59	3,64	6-9	-
Condutividade (mS)			2,47	1000	7,66	4,93	NR	4,08	5,05	46,5	-	-
OD (ppm)	7,8	6,5	7,2	4,12	8,6	7,4	7,5	7,9	7,6	6,2	>5	>5
DBO (ppm)	15	60	30		30	35	30	30	30	46	até 5	até 5
Coli. totais (NMP/100 mL)	9200	20000	ND		ND	9200	ND	ND	9200	9200	5000	5000
Coli. fecais (NMP/100 mL)	700	9000	ND		ND	5200	ND	ND	5400	5400	1000	1000
Nitrogênio total (ppm)	0,08	0,11	0,10		0,08	0,06	0,18	0,16	ND	0,02	-	-
Fosfato (ppm)	0,005	ND	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,18	<0,001	<0,001	<0,001	0,025	-
Sólidos totais (ppm)	5	200	31	372	196	33	195	128	155	410	-	-
Turbidez (ftu)	1,8	8,0	3,0	23	4,6	2,10	5,5	6,4	7,9	9,7	100	-
Sulfatos (ppm)		154		384	173	82	173	96		380	250	
Ferro (ppm)	0,03	11,2	0,045	61	0,85	0,3	1,28	0,5		3,72	0,3	-
Manganês (ppm)	ND	0,33	0,005	1,45						2,29	0,1	-
Chumbo (ppm)	ND	0,0057	ND	0,0042						0,0068	0,03	0,1
Cobre (ppm)	ND	0,006	ND	0,010						0,011	0,02	1,0
Cromo		0,00		0,01						0,00	0,05	0,05

(ppm)		6		1						9		
Zinco (ppm)		0,095		0,63						0,273	0,18	5,0
DQO (ppm)						40	150	50			-	-
Largura (m)												-
Profundidade (m)												-
Descarga (L/s)	1450	1693	2060	2956	886	3429	6104	1337	1086	6180		-
Velocidade												-

FIGURA 7 - VARIAÇÃO DE PH NAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS



P1 e P2 - padrões (Resolução CONAMA 20/86)

Águas ácidas representam um sério problema ambiental. Seu impacto está relacionado ao fato de que a maior parte dos organismos se encontram adaptados a águas tamponadas por carbonatos e não conseguem tolerar forte acidez.

Segundo DALL ALBA (1986), houve grande mortandade de peixes quando lançaram o primeiro efluente de carvão nos rios do Município de Lauro Müller.

A maior parte dos metais tóxicos se tornam móveis em condições de baixo pH.

A solubilidade máxima da maioria dos metais ocorre a pH de 1,0 e decai logarithmicamente até o pH de mínima solubilidade, em geral entre 8 e 10, como apontado pela FUNDATEC (1987, apud BENDER, 1998). No caso da drenagem de mineração, o pH é baixo, ocorrendo a solubilização de metais, principalmente cromo, cobre, ferro, manganês e zinco na forma de sulfatos.

De acordo com BENDER (1998), a correlação entre pH e os metais acima citados é inversamente proporcional, ou seja, quando decresce o valor de pH a concentração de metais aumenta.

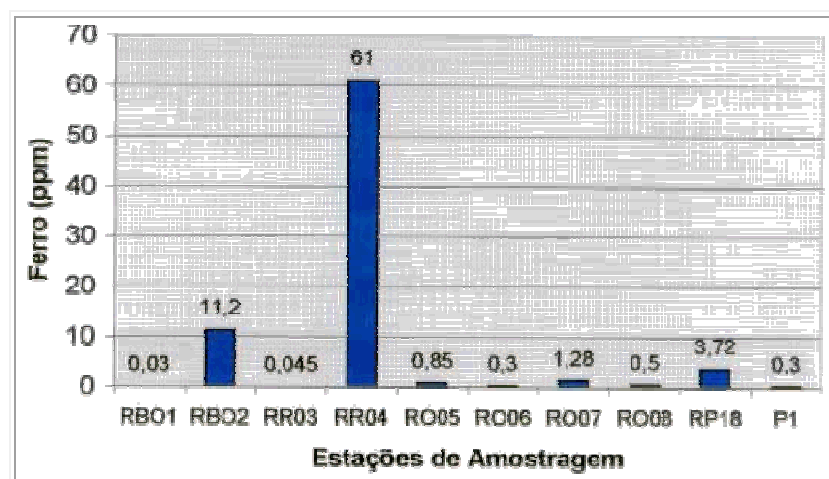
Os índices de pH, observados nas estações localizadas na sub-bacia do Rio Oratório, apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos em lei, possivelmente em virtude da recuperação de algumas áreas degradadas pela mineração no Distrito de Guatá.

Elevadas concentrações de ferro são restritivas à vida aquática, estimulam o crescimento de

bactérias oxidantes (ferro-bactérias), provocam modificações estéticas na água, além de outras influências indesejáveis (ELETROSUL, 1990). O ferro aparece normalmente associado ao manganês.

A Resolução CONAMA 20/86 estabelece o limite máximo de 0,3 ppm para ferro solúvel em águas de classe 2, já o Decreto Estadual 14250/81 não fornece valores para este metal em sua classificação. Os valores detectados são sempre superiores ao limite fixado pela legislação federal em todas as estações de amostragem, com exceção dos valores registrados anteriormente pela UNISUL para as águas das estações RB01 e RR03, que são consideradas como referência para as amostragens realizadas nas sub-bacias do Rio Bonito e do Rio Rocinha, com valores respectivamente de 0,03 ppm e 0,04 ppm. As estações RO05, RO07, RO08 e RP18, apesar de serem enquadradas como classe 2, apresentaram condição de qualidade compatível com o limite fixado para ferro na classe 3 (5,0 ppm) da Resolução CONAMA 20/86, que apresenta usos menos restritivos do que a classe 2 (tabela 17). Mas, para as estações RB02 e RR04, a coleta realizada forneceu valores maiores para este elemento do que aqueles previstos na classe 3. A figura 8 mostra a variação da concentração de ferro para as estações localizadas nas sub-bacias do Rio Bonito, do Rio Rocinha, do Rio Oratório e do Rio Palmeiras.

FIGURA 8 - VARIACÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS.

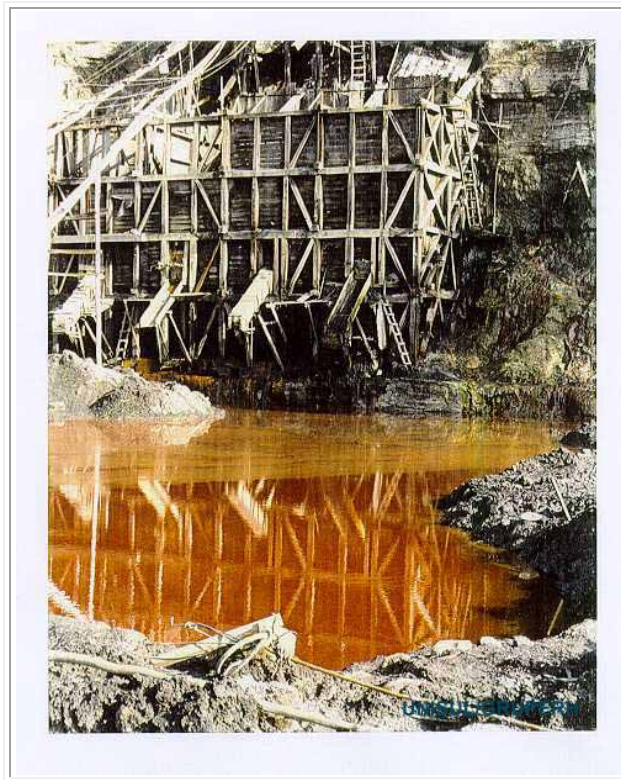


P1 - padrão (Resolução CONAMA 20/86)

Analisando a figura 8, pode-se constatar que na estação RR04, a concentração de ferro foi muitas vezes acima do que o estipulado pela legislação, tornando estas águas extremamente restritivas quanto a sua aplicação. Os valores detectados por BENDER (1998), nas coletas de maio/outubro de 1995 para esta estação foram, respectivamente, de 87,84 ppm e 81,90 ppm contra um padrão fixado pela legislação federal de 0,3 ppm.

A foto 5 mostra a coloração avermelhada proveniente do efluente do beneficiamento do carvão na Usina Rocinha, localizada nas proximidades da foz do Rio Rocinha. A coloração é típica da presença de ferro, na forma de óxido férrico.

FOTO 5 - USINA DE BENEFICIAMENTO ROCINHA. Foto tirada em 1986, quando ainda estava em operação (cedida por I. Bortoluzzi - UNISUL)



Segundo BENDER (1998), o ferro mostra forte correlação positiva com zinco (0,9474), manganês (0,9366), cromo (0,9199), níquel (0,9351), sulfatos (0,9276), sólidos dissolvidos (0,9651) e acidez (0,9363), ou seja, a concentração de ferro aumenta concomitantemente com esses parâmetros. Por outro lado, apresenta correlação negativa com pH e oxigênio dissolvido (-0,8157), ou seja, quando diminui o valor de pH e a concentração de oxigênio dissolvido, aumenta a concentração de ferro. Elevadas concentrações de ferro estão presentes nos carvões catarinenses e de acordo com a HIDROQUÍMICA (1989, apud BENDER, 1998), a concentração de ferro detectada foi de 7956mg/Kg de carvão.

A aplicação do coeficiente de correlação apresentado por BENDER (1998) ratifica as reações de oxidação da pirita que ocorrem em águas provenientes da mineração/beneficiamento do carvão mineral.

De acordo com a autora acima citada, os índices de correlação evidenciam a importância das reações químicas que consomem o oxigênio dissolvido para oxidação da pirita, com a liberação de ácido sulfúrico aumentando a acidez da água e diminuindo o pH, o que favorece a solubilização de diversos metais associados ao carvão.

O manganês, como cátion metálico, é semelhante ao ferro em seu comportamento químico e é frequentemente encontrado em associação com este, justificando a correlação de 0,9366 encontrada por BENDER (1998) entre estes dois elementos.

O manganês é essencial para nutrição de animais, incluindo os seres humanos. A falta deste elemento, como seu excesso, produzem efeitos colaterais. O envenenamento por manganês ocasiona problemas semelhantes aos da doença de Parkinson, distúrbios psicológicos e falta de coordenação motora, conforme citado pela SOPHS (1997, apud BENDER, 1998). Para a proteção da vida aquática, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) recomenda o valor de 0,05 ppm. O CONAMA, para águas doces classes 1 e 2, fixa o valor limite em 0,1 ppm de manganês, enquanto que o Decreto Estadual 14250/81 não fornece valores para manganês em sua classificação.

As estações RB02, RR04 e RP18 acusaram teores sempre acima do recomendado para águas de classe 2 (Res CONAMA 20/86), sendo que as estações RR04 e RP18 apresentaram condição de qualidade incompatível também com o limite fixado para manganês na classe 3 (0,5 ppm - Res CONAMA 20/86), conforme apresentado na tabela 17.

Os registros anteriormente realizados pela BORTOLUZZI/UNISUL não detectaram a presença de manganês para as águas da estação RB01, sendo que para a estação RR03 o valor registrado foi de 0,005 ppm, não ultrapassando o limite estabelecido pela legislação

federal.

As análises realizadas por BENDER (1998), na sub-bacia do Rio Rocinha, detectaram a presença de concentrações acentuadas de manganês nas proximidades das áreas de disposição de rejeitos do beneficiamento do carvão, com valores em torno de 5 ppm, na coleta realizada em maio de 1995.

O padrão estabelecido para zinco pela Resolução CONAMA 20/86 para águas de classes 1 e 2 é de 0,18 ppm e para águas de classe 3 é de 5,0 ppm, já o Decreto Estadual 14250/81 e a Portaria MINTER 013/76 estabelecem o limite de 5,0 ppm para águas de classe 2. De acordo com a legislação estadual, este valor não foi ultrapassado em nenhuma das estações amostradas.

A qualidade da água nestas estações (RB02, RR04 e RP18) está de acordo com o enquadramento previsto pela Portaria GAPLAN 024/79, embora os valores detectados nas estações RR04 e RP18 localizadas, respectivamente, na foz do Rio Rocinha e na foz do Rio Palmeiras ultrapassem o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86, para águas de classe 2, conforme mostra a tabela 17.

As coletas realizadas por BENDER (1998) em maio/outubro de 1995, detectaram concentrações de zinco, na sub-bacia do Rio Rocinha, que aumentam de montante para jusante, sendo que os registros de maio correspondem a concentrações mais elevadas, uma vez que o período abril/maio/junho se caracteriza como de baixa precipitação.

O zinco está presente na composição dos carvões catarinenses e de acordo com a HIDROQUÍMICA (1989, apud BENDER, 1998), a concentração detectada foi de 63,4 mg/kg.

Ainda de acordo com BENDER (1998), os índices de correlação entre zinco x sólidos dissolvidos (0,9966) e zinco x acidez (0,9979) são muito próximos a 1, o que significa que a solubilidade do zinco aumenta com a concentração de acidez.

No que concerne à análise de cromo, a condição de qualidade das águas das estações RB02, RR04 e RP18 localizadas, respectivamente, na foz dos rios Bonito, Rocinha e Palmeiras, está de acordo com o enquadramento estabelecido para estas sub-bacias, ou seja, em nenhuma das estações foram detectadas concentrações superiores ao limite estabelecido para águas de classe 2, conforme estabelecido pela Portaria MINTER 013/76. As concentrações detectadas estão de acordo tanto com a legislação estadual, quanto com a legislação federal, embora tenha sido registrada na estação RR04 (0,011), o dobro daquela constatada no ponto RB02 (0,006).

O valor detectado por BENDER (1998) para a estação localizada na foz do Rio Rocinha em maio de 1995 foi de 0,012 ppm, ou seja, praticamente coincidente com o valor registrado pela BORTOLUZZI/UNISUL, no mesmo local, na análise realizada em março de 1998 (0,011 ppm).

O relatório sobre a caracterização do carvão, realizado pela HIDROQUÍMICA (1989), apresentou um teor de cromo da ordem de 21,2 mg/kg, inferior apenas às concentrações detectadas de ferro, manganês e zinco.

Para a análise de cobre a legislação federal estabelece padrões bem mais restritivos (0,02 ppm) do que a legislação estadual (1,0 ppm), o que causa certa estranheza, uma vez que a Resolução CONAMA 20/86 (art.15) diz que os órgãos de controle ambiental poderão acrescentar outros parâmetros, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais. Em nenhuma das estações, onde este elemento foi analisado (RB02, RR04 e RP18), os limites fixados, tanto pela legislação federal como pela estadual, foram ultrapassados, embora tenham sido registradas concentrações muito próximas nas estações RR04 (0,010 ppm) e RP18 (0,011 ppm), com valores que correspondem praticamente ao dobro do detectado na estação RB02 (0,006 ppm), conforme mostra a tabela 17.

A correlação entre cobre e alguns dos parâmetros analisados por BENDER (1998) apresenta índices positivos, mas não muito significativos, como por exemplo, Cu x Fe (0,79), Cu x Zn (0,81), Cu x Mn (0,85) e Cu x Ni (0,78). Salienta, ainda a autora acima, que as concentrações de ferro, manganês e zinco no carvão são, respectivamente, de 7956 mg/kg, 60 mg/kg e 63,4 mg/kg, enquanto o cobre é de 12,2 mg/kg.

O chumbo foi detectado em todas as estações de amostragem nas quais foi analisado (RB02, RR04 e RP18), embora em concentrações abaixo do estabelecido pela legislação federal e estadual.

Segundo BENDER (1998), as correlações entre chumbo e outros metais, como por exemplo, Pb x Fe (0,1107), Pb x Zn (0,2466), Pb x Mn (0,2486), Pb x Cu (0,2954) e Pb x Ni (0,2889) apresentaram índices sempre muito baixos, certamente derivados da grande

freqüência de valores abaixo do limite de detecção do método (0,02 ppm).

Os resultados apresentados pela UNISUL para este trabalho, cujas análises foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica, também mostraram valores abaixo do limite de detecção do método (tabela 17).

Conforme acentua BENDER (1998), as drenagens de minas de carvão, comuns nesta região, contribuem com elevadas concentrações de sulfato, em virtude da oxidação do enxofre presente na pirita. Este parâmetro também pode provocar a formação de ácido sulfúrico, reduzindo o pH dos corpos d'água.

Concentrações de sulfato acima de 250 ppm, em águas de suprimento doméstico, produzem efeitos purgativos no ser humano. Este é o limite fixado pela Resolução CONAMA 20/86, para águas de classes 1, 2 e 3.

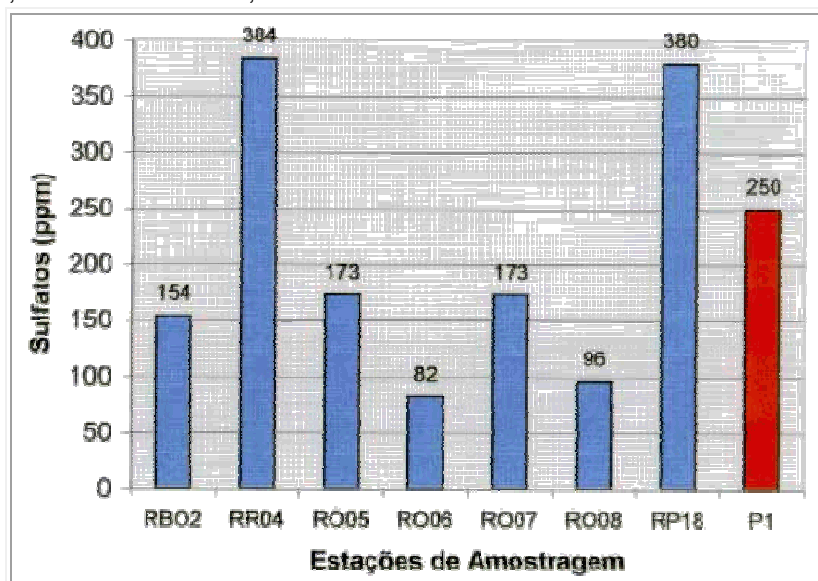
Como a oxidação da pirita (FeS_2) resulta na produção de sulfato ferroso e ácido sulfúrico, é comum as elevadas concentrações deste parâmetro nas sub-bacias em estudo, onde a poluição é principalmente provocada pelas atividades de mineração/beneficiamento do carvão.

Os estudos realizados por BENDER (1998) constataram fortes correlações positivas de sulfato com ferro, manganês, zinco, níquel, acidez e sólidos dissolvidos. As correlações foram mais acentuadas entre sulfato x manganês (0,9739) e sulfato x níquel (0,9807).

As análises agora realizadas corroboram os resultados acima apresentados, uma vez que a concentração de manganês aumentou com a concentração de sulfatos nas estações RB02 e RR04, conforme pode ser visto na tabela 17.

A acidez presente nas águas provoca, certamente, um aumento substancial na concentração de sulfatos. Por este motivo, as estações localizadas na foz das sub-bacias em estudo, registraram valores elevados na concentração de sulfatos, como mostra a figura 9.

FIGURA 9 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SULFATOS (SO_4) NAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS



P1 - padrão (Resolução CONAMA 20/86)

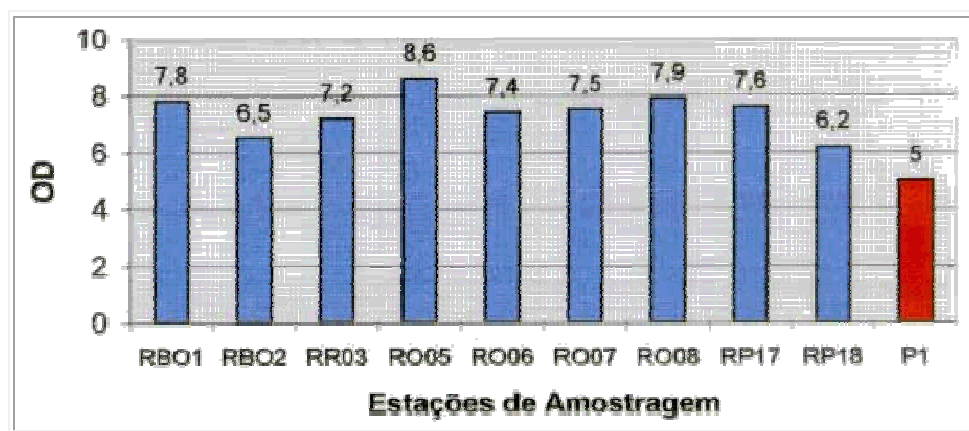
A condição de qualidade para este parâmetro está em desacordo com o limite fixado pela legislação federal (250 ppm) nas estações RR04 e RP18, e que, junto com os demais parâmetros analisados, comprometem as águas para os usos previstos na classificação.

Nas estações localizadas nas sub-bacias do Rio Bonito e do Rio Palmeiras, constatou-se um declínio na concentração de oxigênio dissolvido, provavelmente, resultante das reações de oxidação da pirita.

No que concerne a este parâmetro, a condição de qualidade das águas está de acordo com o enquadramento estabelecido para as águas das sub-bacias influenciadas pela mineração/beneficiamento do carvão, ou seja, em nenhuma das estações foram detectadas concentrações inferiores ao limite estabelecido para águas de classe 2, conforme mostra a

figura 10.

FIGURA 10 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) NAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS



P1 - padrão (Resolução CONAMA 20/86)

Nos estudos realizados por BENDER (1998), a correlação entre OD e parâmetros, tais como, ferro, zinco, manganês, cobre, níquel, sólidos dissolvidos e acidez apresentou índices sempre negativos, com exceção de pH x OD, o que significa que, à medida que as reações químicas se processam, o oxigênio dissolvido vai sendo consumido, liberando ácido sulfúrico e alguns metais para o ambiente.

Conforme já mencionado no capítulo 3, os sólidos totais presentes na água são classificados como sólidos totais dissolvidos e sólidos totais suspensos.

Nas águas naturais, os sólidos dissolvidos são constituídos principalmente por carbonatos, cloretos e sulfatos. Elevadas concentrações de sólidos dissolvidos são indesejáveis pelos efeitos fisiológicos (laxativos, irritações na vesícula, intestinos,...), sabor e também pelas consequências econômicas, conforme comentado pela ELETROSUL 1990. Usualmente os limites recomendados variam em torno de 500 ppm para águas de abastecimento. Este é o padrão fixado pela Resolução CONAMA 20/86 para águas de classe 1, 2 e 3. A legislação estadual não fixa limites para sólidos em sua classificação.

Quando em suspensão, os sólidos aumentam a turbidez da água, interferindo na penetração da luz e na produção fotossintética aquática, além da vida da fauna aquática, conforme comentado pela ELETROSUL 1990. O lodo oriundo da sedimentação dos sólidos em suspensão também pode interferir na vida aquática do leito do rio, principalmente se o material for de origem orgânica, pois consumirá oxigênio dissolvido na sua decomposição.

De acordo com BENDER (1998), o teor de sólidos dissolvidos é menor durante períodos mais chuvosos, porque as águas pluviais permanecem menos tempo em contato com as pilhas de rejeitos, ou seja, a relação sólidos dissolvidos x chuva é inversamente proporcional. Salienta a autora que, inicialmente, as águas pluviais diminuem a concentração dos elementos presentes na água, mas em função da percolação destas pelas pilhas de rejeitos, carregando sólidos para o rio, o processo poluidor continua.

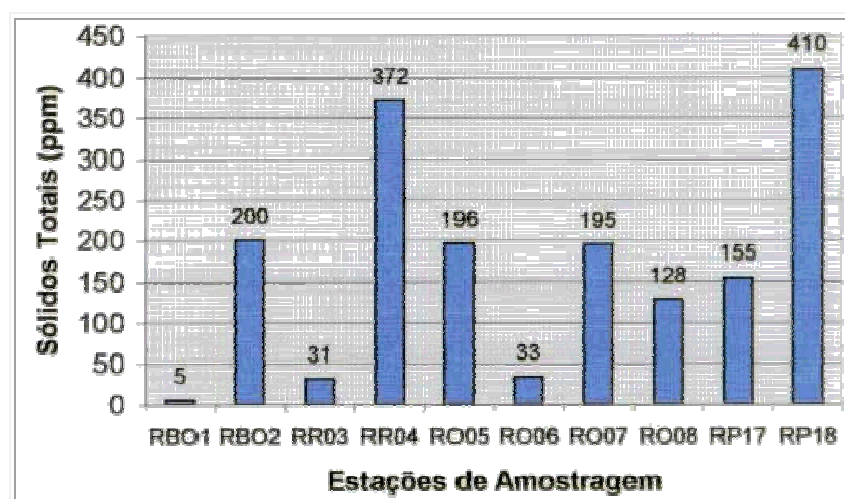
Os resultados das análises de sólidos totais realizadas pela UNISUL, nas sub-bacias do Rio Bonito e do Rio Rocinha mostram que as concentrações sofrem pequenas variações à montante da poluição da área e uma elevação abrupta à jusante. A foto 6 apresenta a área de disposição de rejeitos do beneficiamento do carvão na margem esquerda do Rio Rocinha, com aproximadamente 2 Km² de extensão.

FOTO 6 - DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA MARGEM ESQUERDA DO RIO ROCINHA. FOTO TIRADA EM 1998 (Empréstimo de M. Bender)



A figura 11 mostra a concentração de sólidos totais em amostras coletadas nas sub-bacias dos rios Bonito, Rocinha, Oratório e Palmeiras.

FIGURA 11 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS



Em função dos processos produtivos desenvolvidos nestas sub-bacias, observa-se concentrações elevadas, principalmente, na foz dos rios Bonito (RB02), Rocinha (RR04) e Palmeiras (RP18).

A tabela 18 apresenta a carga poluente em termos de sólidos totais para todas as estações amostradas.

TABELA 18 - CARGA POLUENTE EM TERMOS DE SÓLIDOS TOTAIS- SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS

Estações	Vazão (L/s)	Concentração ST (ppm)	Carga Poluente (m/s)
RB 01	1450	5	7250
RB 02	1693	200	338600
RR 03	2060	31	63860
RR 04	2956	372	1099632

RO 05	886	196	173656
RO 06	3429	33	113157
RO 07	6104	195	1190280
RO 08	1337	128	171136
RP 17	1086	155	168330
RP 18	6180	410	2533800

Pode-se constatar um aumento na carga poluente de cada uma das sub-bacias, de montante para jusante, resultante do comprometimento dos recursos hídricos pelas atividades de mineração/beneficiamento do carvão mineral.

Possivelmente, a variação na carga poluente observada nas estações RB02 e RR04, localizadas, respectivamente, na foz dos rios Bonito e Rocinha, que apresentam sub-bacias longilíneas, paralelas entre si, com disposição aproximada E-W e, cujo processo poluidor está, principalmente, associado à mineração e ao beneficiamento do carvão mineral, seja devido ao Rio Carvão, principal afluente do Rio Rocinha, que não evidencia problemas decorrentes da exploração do carvão mineral, mas poluição devido à localização de algumas pocilgas em sua área de drenagem, que certamente contribuem com teores de sólidos totais.

Os cálculos do Índice de Qualidade de Água (IQA) revelaram que a estação RB01 e RR03 foram classificadas para fins de abastecimento público como BOA. As estações RB02, RR04 e RP18 foram classificadas como IMPRÓPRIA PARA TRATAMENTO CONVENCIONAL, enquanto que os índices obtidos para as demais classificaram as mesmas como ACEITÁVEL. A tabela 19 apresenta o índice obtido em cada estação de amostragem, bem como sua classificação.

TABELA 19 - ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA AS ESTAÇÕES DAS SUB-BACIAS DO RIO BONITO, DO RIO ROCINHA, DO RIO ORATÓRIO E DO RIO PALMEIRAS

Estações	Índice	Classificação
RB 01	52,92	BOA
RB 02	29,29	IMPRÓPRIA PARA TRATAMENTO CONVENCIONAL
RR 03		BOA
RR 04		IMPRÓPRIA PARA TRATAMENTO CONVENCIONAL
RO 05	44,58	ACEITÁVEL
RO 06	38,25	ACEITÁVEL
RO 07	43,79	ACEITÁVEL
RO 08	44,01	ACEITÁVEL
RP 17	41,02	ACEITÁVEL
RP 18	24,37	IMPRÓPRIA PARA TRATAMENTO CONVENCIONAL

A foto 7 mostra a coloração das águas na foz do Rio Rocinha, à montante da confluência com o Rio Bonito, no local onde foram coletadas amostras de água para o cálculo do IQA e demais parâmetros analisados na estação RR04, que classificaram suas águas como IMPRÓPRIA PARA TRATAMENTO CONVENCIONAL.

FOTO 7- RIO ROCINHA PRÓXIMO À CIDADE DE LAURO MÜLLER (Empréstimo de M. BENDER, 1998)



A coloração amarelada é decorrente da precipitação do ferro insolúvel, que gera uma cobertura castanho-amarelada nos seixos depositados no leito e nas margens do rio.

A foto 8 mostra o efeito da contaminação com carvão e de matéria orgânica em uma cascata em Pindotiba no Rio Palmeiras, 1994. As faixas verdes ocorrem onde a matéria orgânica reduziu o Ferro a Ferro II. As Queimadas em várzeas e morros é ainda uma prática para limpeza de áreas de cultivo, na foto 9, um exemplo no Rio Armazém em Pindotiba, 1996.

FOTO 8 CASCATA NO RIO PALMEIRAS EM PINDOTIBA, 1994 (Foto cedida I. P. Bortoluzzi).



FOTO 9 QUEIMADA ÀS MARGENS DO RIO ARMAZÉM EM 1996.(Foto cedida por I. P

Bortoluzzi).

