

QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIA HIDROGRÁFICA COM MINERAÇÃO DE CARVÃO: estudo de caso da bacia do Rio Tonim, município de Criciúma, SC.

Tatiane Peters Walter¹ & Álvaro José Back²

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Tonim, localizada no município de Criciúma, sul do Estado de Santa Catarina. A bacia estudada possui 9,5 km² de área de drenagem, já foi explorada com a mineração de carvão, mantendo atualmente atividades de rebeneficiamento de rejeitos de carvão e produção de coque. Existem ainda na bacia catorze bocas de mina, cuja drenagem de águas ácidas contribuem para a formação das vazões de efluentes. Durante o período de junho de 2006 a maio de 2007, semanalmente foram coletadas amostras de água analisando-se a temperatura, pH, acidez, condutividade, sulfatos, alumínio, ferro e manganês. Os valores de pH oscilaram entre 2,7 a 2,9, apresentando ainda altos valores de condutividade, acidez, sulfatos, alumínio, ferro e manganês nas análises da qualidade da água, caracterizando o Rio Tonim como extremamente poluído pelas atividades carboníferas. A carga de acidez média de 1.074 kgCaCO₃/h drenada aos cursos de água está ligada aos valores de vazão e precipitação, indicando que os rejeitos expostos possuem muita reatividade química, o que se justifica por meio da existência de minas desativadas e que ainda não recuperaram suas áreas degradadas, contribuindo com drenagem ácida de subsolo.

ABSTRACT- The current work comprises an analysis of Rio Tonim's watershed water quality, located on Santa Catarina southern town of Criciúma. This watershed have a drainage area of 9,5 km², it was already exploited by the coal mining activity, keeping currently coal rejects melioration activities and coke production. Yet there's fourteen mine entrances in the watershed, such acid waters drainage contributes to the formation of effluent flows. During the period from June 2006 to may 2007, weekly water samples were collected analyzing temperature, pH, acidity, conductivity, sulphates, aluminum, iron and manganese. Values of pH oscillated between 2,7 and 2,9, still showing high values of acidity, conductivity, sulphates, aluminum, iron and manganese in the water quality analysis, characterizing River Tonim as extremely polluted by carboniferous activities. Average on acidity load of 1.074 kgCaCO₃/h drained to the watercourses is bound to the values of output and precipitation, indicating that such exposed rejects have a lot of chemical reactivity, what justifies itself by means of existence of disabled mines which still didn't recover its degraded areas, contributing to the underground acid drainage.

Palavras-chave: degradação ambiental, mineração de carvão, drenagem ácida de mina.

¹ MSc. Ciências Ambientais, Diretora do Instituto de Pesquisa Catarinense -IPC, Email tatiane@ipc-pesquisas.com.br.

² Dr. Engenharia Agrícola, Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremos Sul Catarinense – UNESC, Email ajb@unesc.net

1 INTRODUÇÃO

As reservas de carvão no Brasil representam a maior fonte de energia não renovável, chegando a 50% do total. De um total de 32,3 bilhões de toneladas de reserva estimada de carvão mineral, o Estado de Santa Catarina detém mais de 10% (3,4 bilhões de toneladas). Sendo assim, a lavra e o beneficiamento de carvão no sul do Estado de Santa Catarina são as atividades econômicas fundamentais ao desenvolvimento de toda a região (CETEM, 2001). Parte da bacia do Rio Araranguá, juntamente com parte da bacia do Rio Urussanga e do Rio Tubarão formam a bacia Carbonífera, que compreende uma faixa de 60 km de extensão por 20 km de largura, na qual estão localizadas as reservas de carvão catarinense. Estende-se das proximidades do Morro dos Conventos e Balneário Arroio do Silva, no litoral Sul, até as cabeceiras do Rio Hipólito, ao norte, na bacia do Rio Tubarão, a oeste não ultrapassa Nova Veneza, chegando até Içara (JICA, 1998). Porém a atividade carbonífera não compreende todos os municípios desta extensão, mas sim os seguintes municípios: Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça, Siderópolis, Treviso e Urussanga, que juntamente com os municípios de Nova Veneza e Orleans formam a Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC).

O crescimento econômico da região ocorreu diretamente à atividade carbonífera, e a população apresentou um aumento significativo devido a necessidade de mão-de-obra no setor, onde em 1985 a indústria extrativa mineral chegou a representar cerca de 40% do total de emprego industrial na Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC). Essa atividade teve papel essencial para a economia regional. Até 1950, praticamente nenhum outro setor foi desenvolvido, em se tratando de indústria de transformação (IPAT/UNESC, 2007).

A atividade carbonífera no sul de Santa Catarina resultou num elevado grau de degradação ambiental à região, o que coloca a AMREC entre as regiões mais poluídas do País. Isso porque no início da exploração os custos sociais e ambientais futuros não eram considerados, o aspecto econômico era privilegiado em detrimento aos demais e o meio ambiente era visto somente como fornecedor dos recursos e local onde se depositariam os rejeitos do processo. Um outro agravante é que o carvão catarinense é considerado de qualidade inferior, do total de carvão bruto extraído, cerca de 70% é rejeito e apenas 30% de carvão energético (*op cit*). Por consequência disso, em 25 de setembro de 1980, por meio do Decreto nº 85.206, a região carbonífera foi considerada a 14ª área crítica nacional para efeito de controle da poluição e qualidade ambiental. Nessa ocasião, todas as bacias hidrográficas da região carbonífera já estavam comprometidas (Valiati e Almeida, 2006).

Uma das maiores consequências ambientais, decorrentes da mineração, é a drenagem ácida, ocasionada pelas diversas atividades de mineração como: drenagem ácida de mina (DAM), beneficiamento do carvão e, depósitos de rejeito (*op cit*). A chuva que cai sobre os rejeitos, quando

não fica retida em depressões na superfície do terreno que se infiltram nos rejeitos, drenam para os rios, carreando contaminantes que conseqüentemente irão comprometer a qualidade dos recursos hídricos (Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2003).

Das cinco bacias hidrográficas do sul do Estado de Santa Catarina, três são consideradas impactadas pela atividade mineradora: a Bacia do Rio Araranguá, do Rio Tubarão e do Rio Urussanga. A Bacia do Rio Araranguá possuía 2936,4 ha de áreas degradadas, o Rio Tubarão 1019,0ha o Rio Urussanga 608,4 ha, totalizando 4563,8 ha de áreas degradadas no sul de Santa Catarina no ano de 2003. Deste total, 2233,6 ha eram decorrentes de rejeito de lavador de carvão; 2163,4 ha de rejeitos estéreis (branco) e 166,8 ha eram lagos ácidos (Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2003). Da área total das cinco bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina, as três bacias supracitadas compreendem 83% da área total, o que equivale a 870.000ha. Desta área, quase 2% (4563,8ha) eram áreas degradadas, isto no ano de 2003, segundo estudo do Banco Interamericano de Desenvolvimento. Parece pouco, porém o efeito provocado compreende quase toda a extensão dos rios trazendo prejuízos às diversas atividades, como agricultura, pesca e também ao abastecimento público e industrial (UNESC e PLURAL, 2003).

Já em monitoramento realizado no ano de 2005 e apresentado no Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais (GTA, 2007), as áreas impactadas pela mineração de carvão em toda a bacia carbonífera e também as áreas localizadas na localidade de Estiva dos Pregos, pertencente ao município de Capivari de Baixo, totalizam 6171,23 ha de áreas degradadas, sendo que 2871,12 ha se refere à mineração a céu aberto (46%), 3130,38 ha são depósitos de rejeito (51%) e 169,73 ha são depósitos de rejeito em cava a céu aberto (3%). Do total de áreas impactadas, aproximadamente 54,91% sofreram algum tipo de transformação após o processo de mineração.

A bacia do Rio Araranguá possui a maior extensão de trechos impactados com drenagem ácida (361 km), o que corresponde a 6,68% da extensão total de rios nessa bacia (GTA, 2007). No município de Criciúma, segundo relatório GTA (2007), existe 184,43 ha de áreas mineradas a céu aberto, correspondendo a 6,4% do total destas áreas no sul do Estado de Santa Catarina. Nos municípios de Urussanga e Siderópolis encontram-se as maiores áreas de mineração a céu aberto, 774,17 ha e 742,81 ha, respectivamente. Ainda no município de Criciúma encontra-se 1843,9 ha de áreas de depósito de rejeito (58,9% do total) e 69,7 ha de áreas de depósito de rejeito em cava de céu aberto (41,1% do total). Totalizando 2098,03ha de áreas impactadas pela mineração de carvão no município de Criciúma, 34% do total das áreas impactadas no sul do Estado.

Na bacia do Rio Araranguá, segundo estudos da empresas Engenheiros Consultores Projetistas - ECP (1982) a bacia do Rio Sangão concentra a maior carga poluidora do sistema hídrico, gerada pelas atividades de lavra e beneficiamento de carvão. O mesmo estudo mostra que

no Rio Sangão a vida aquática se encontra comprometida, além de estar transportando toda a carga poluidora ao Rio Mãe Luzia, que somadas às cargas drenadas do Rio Fiorita, faz com que a bacia do Rio Araranguá seja considerada crítica, tanto pela disponibilidade hídrica quanto pela qualidade das suas águas. Ainda neste estudo, é apresentado as contribuições poluidoras básicas do Rio Sangão no sistema hídrico da região. Na época as principais contribuições eram: lançamento direto do efluente de lavadores de carvão, com enorme carga de finos; lançamento direto do efluente de mina subterrânea; lixiviação de áreas lavradas a céu aberto e principalmente de grandes depósitos de rejeitos piritosos e um grande número de depósitos menores disseminados na área da bacia; dissolução da pirita e outros poluentes de forma contínua nos finos suspensos e depositados no leito do rio; contribuições industriais diversas, através do Rio Criciúma, entre as quais se pode citar o efluente de curtume.

No monitoramento realizado por ECP (1982) tinha-se que da carga poluente total oriunda da mineração de carvão que chega ao Rio Araranguá por meio do Rio Mãe Luzia, 70 a 80 % eram provenientes do Rio Sangão. O relatório do GTA (2007) comprova que ainda hoje o Rio Sangão apresenta a maior concentração de acidez e carga de acidez de toda a bacia do Rio Araranguá. Sua carga média de acidez, medida junto à confluência com o Rio Mãe Luzia, corresponde a 90% de toda a carga ácida da bacia do Rio Araranguá, sendo, portanto, o rio com a maior contribuição de drenagem ácida. A bacia do Rio Sangão compreende uma área de 198,38 km² e perímetro de 69,50 km, sendo sua nascente situada próximo ao município de Siderópolis, numa altitude aproximada de 300 m. O Rio Sangão desemboca no Rio Mãe Luzia próximo ao município de Maracajá, atingindo uma cota de aproximadamente 30 m. Ao longo do seu trecho apresenta muita sinuosidade, cuja extensão aproximada é de 48,20 m (*op cit*). Entre os afluentes do Rio Sangão se destacam pela margem direita, o Rio Maina e pela margem esquerda o Rio Criciúma. Outro importante afluente do Rio Sangão é o Rio Tonim, também pela margem esquerda. Este será o foco deste trabalho, que assim como os Rios Maina e Criciúma estão comprometidos pelas atividades de mineração de carvão na região.

No estudo do Banco Interamericano de Desenvolvimento (2003), tratando sobre melhorias na gestão ambiental e na qualidade da água em operações de mineração de carvão em Santa Catarina, foi destacada a importância da contribuição das águas pluvias na contaminação e comprometimento dos recursos hídricos em áreas de mineração. O mesmo estudo aponta que a poluição da água é um impacto negativo, no qual atinge o crescimento econômico da região e no bem-estar da população.

Neste contexto o monitoramento da qualidade da água faz-se necessário para identificação e quantificação das cargas poluentes, priorizando ações e avaliando a eficácia das medidas

O clima da região, segundo classificação de Koeppen e com base nos dados da Estação Meteorológica de Urussanga, é do tipo mesotérmico constantemente úmido com verões quentes (Cfa). A temperatura média anual varia entre 17,0 a 19,3°C e a temperatura média normal das máximas varia de 23,5 a 25,9°C e das mínimas de 12,0 a 15,1°C. A precipitação pluviométrica total normal anual pode variar de 1220 a 1660 mm, com o total anual de dias de chuva entre 102 a 150 dias. A umidade relativa do ar média pode variar de 81,4 a 82,2%. Podem ocorrer em termos normais de 0,3 a 11 geadas por ano. Os valores de horas de frio abaixo de 7,2°C são relativamente baixos (de 164 a 437 horas acumuladas por ano). A insolação total normal anual varia de 1855 a 2182 horas (Dufloth *et al*, 2005).

Os solos da área em estudo são classificados como Podzólico Vermelho-Escuro. Constitui classe de solo recentemente proposta pela Embrapa Solos. É constituída por solos anteriormente identificados como Terras Roxas Estruturadas Similares e pelas modalidades de coloração avermelhada dos Podzólicos Vermelho-Amarelos. No Estado de Santa Catarina os solos desta classe ocorrem em áreas de relevo suave ondulado e ondulado, sob condições de clima tropical, dominados por vegetação do tipo floresta tropical perenifólia, estando distribuídos principalmente nas microrregiões Carbonífera e Litoral Sul Catarinense.

Na área de estudo podem ser encontrados atividades de rebeneficiamento de rejeitos de carvão mineral e produção de coque. Além destas atividades, temos a infiltração de água da chuva e recarga de aquíferos, bem como a geração de drenagem ácida de mina (DAM) em 14 aberturas de acesso a mina de subsolo, chamada popularmente de “boca de mina”, das minas subterrâneas São Simão e Antônio de Luca, paralisadas desde 1988 (Neto *et al*, 2004). Destas 14 bocas de minas, 4 delas são consideradas com vazões significativas e fizeram parte deste estudo.

A localização das bocas de mina e do ponto de monitoramento dentro da bacia pode se visualizada na Figura 2.

Semanalmente foram coletadas amostras de água no ponto próximo a Foz da bacia denominado TN01 (Figura 3). As amostras foram encaminhadas ao LAQUA – Laboratório de Análises Químicas e Ambientais da SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, Criciúma (SC). Os parâmetros e métodos utilizados na análise estão descritos na Tabela 1. Foi realizado o monitoramento da precipitação e vazão, bem como da qualidade da água da bacia em estudo no período de 01 de junho de 2006 a 31 de maio de 2007.

O monitoramento da vazão foi realizado com a instalação de uma seção de régua fluviométrica na foz da bacia. Diariamente foram realizadas medidas do nível fluviométrico nos horários das 07:00 e 17:00 h e os níveis foram convertidos em vazões por meio da curva chave ajustada para esta seção.

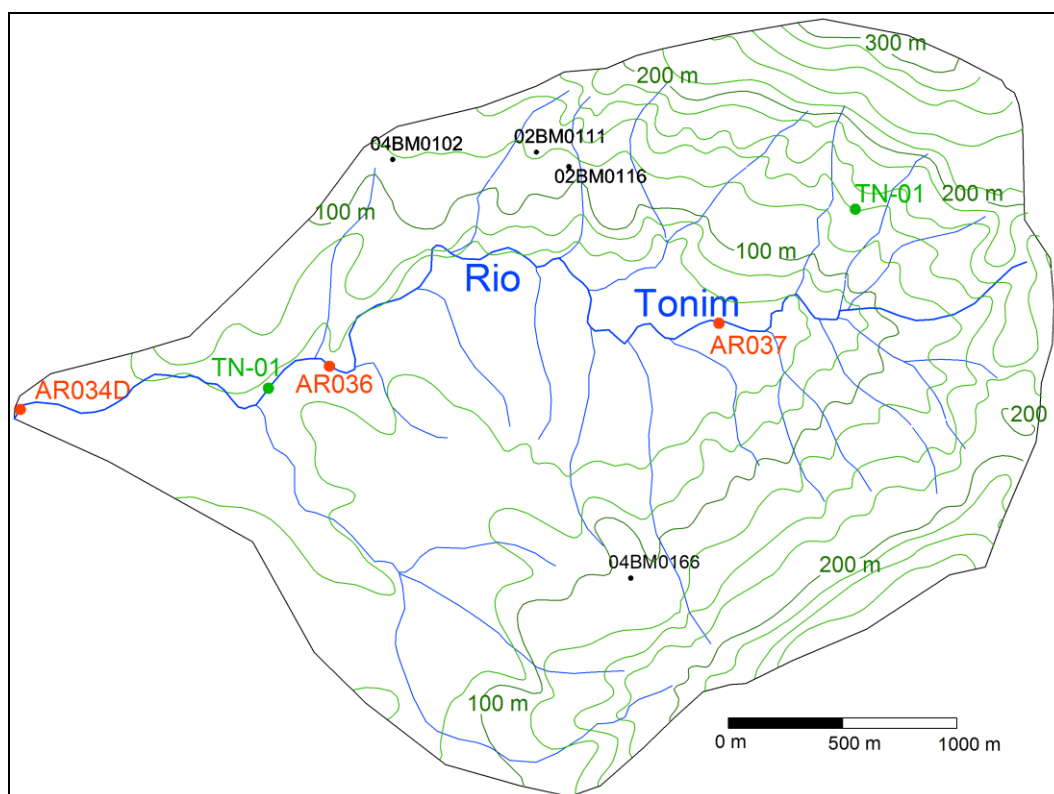


Figura 2 - Pontos de monitoramento localizados na bacia do Rio Tonim

Tabela 1 - Parâmetros analisados e métodos utilizados nas análises de água.

Parâmetros	Método utilizado
Temperatura (°C)	Potenciométrico
pH	Potenciométrico
Acidez Total (mg/L CaCO ₃)	Titulação Potenciométrica
Condutividade (uS/cm)	Condutivimétrico
Alumínio, Ferro e Manganês Total (mg/L)	Espectrometria de Absorção Atômica
Sulfatos (mg/L)	Espectrofotométrico com cloreto de bário

Para monitorar a precipitação foi instalado próximo a foz da bacia um pluviômetro modelo Ville de Paris. As leituras dos índices pluviométricos foram realizadas diariamente no horário das 07:00 h. Com os dados de vazão foram determinadas as cargas poluidoras do Rio Tonim bem como das bocas de minas. Estes valores obtidos foram confrontados com os valores obtidos no monitoramento realizado pelo SIECESC/CPRM durante os anos de 2002 e 2003.

O SIECESC realiza monitoramento desde o ano de 2002 em três pontos na bacia do Rio Tonim (AR034d, AR036 e AR037) e dois no Rio Sangão a montante e a jusante da foz do Rio

Tonim (AR031 e AR032). A análise destes pontos foi utilizada para compararmos com o ponto TN01, monitorado neste estudo.



Figura 3 - Rio Tonim na ponte de acesso a coqueria, local de monitoramento TN01.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios mensais de cada parâmetro analisado. Alguns parâmetros são utilizados para determinar estas características da água e assim definir sua finalidade. Dentre os parâmetros físicos temos a temperatura, que é um fator que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos na água. Portanto, sua medição é importante para a interpretação do restante dos parâmetros de qualidade das águas e dos processos que ocorrem na água. Todos os organismos que vivem na água são adaptados para uma determinada faixa de temperatura e possuem uma temperatura preferencial. De acordo com Resolução CONAMA nº 357/2005, “*Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, com temperatura inferior a 40°C, desde que a elevação de temperatura do corpo receptor não exceda 3°C*”.

Analisando os dados de temperatura na Tabela 2 verifica-se que os valores estão dentro da normalidade para os ambientes aquáticos brasileiros, que geralmente apresentam temperaturas entre 20°C e 30°C, podendo descer a valores entre 5°C e 15°C nas regiões mais frias do país (Sperling, 1998). A temperatura mede a intensidade do calor presente na água, que pode ser originário de fontes naturais, por despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas. A temperatura exerce

grande influência na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias.

Tabela 2 - Médias mensais dos parâmetros analisados.

mês	Temperatura		Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Acidez mg/L	Sulfatos mg/L	Alumínio mg/L	Ferro mg/L	Manganês mg/L
	($^{\circ}\text{C}$)	pH						
jun/06	18	2,8	2209,30	1281	1497,30	144,3	159,1	5,2
jul/06	19	2,7	2507,00	1468	1749,50	162,6	183,4	5,2
ago/06	16,7	2,8	1630,00	1525	1460,30	154,3	223,8	4,7
set/06	18,5	2,7	1134,30	1394	1717,50	144,8	195,7	5,4
out/06	21,7	2,7	2135,90	1387	1415,00	176,6	185,4	5,3
nov/06	21,5	2,8	2451,00	1623	1617,50	197,4	262,1	4,1
dez/06	26,1	2,7	2203,80	1452	1476,30	199,2	216	3,9
jan/07	25,8	2,7	2333,60	1547	1734,80	159,8	209,6	4,3
fev/07	24,8	2,8	3214,30	2100	1831,00	211,1	352,9	4,5
mar/07	25,9	2,9	2002,50	1286	1370,80	138,2	196,5	2,9
abr/07	24,4	2,9	1774,30	1088	1422,20	143,5	157,2	2,7
mai/07	18,9	2,9	1651,50	983	1488,00	106,7	129,2	3,5
Média	21,8	2,8	2104,00	1428	1565,00	161,5	205,9	4,3
Mínimo	16,7	2,7	1134,30	983	1370,80	106,7	129,2	2,7
Máximo	26,1	2,9	3214,30	2100	1831,00	211,1	352,9	5,4
Des. padrão	3,5	0,1	553,8	291,6	162,7	30,9	58,6	0,9

Com relação aos valores de pH, obteve-se um valor médio de 2,8, variando de 2,7 a 2,9. Também não foi observada variação do pH quando relacionando as variáveis hidrológicas, se mantém basicamente constante ao longo do tempo. O pH é de extrema importância como indicador da qualidade da água. Em águas para abastecimento, baixos valores de pH podem contribuir para sua corrosividade e agressividade, e valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações. Para a manutenção da vida aquática adequadamente, o pH deve situar-se na faixa de 6 a 9 (Sperling, 1998). O pH de um rio é fortemente afetado pelo lançamento de efluentes industriais. Na Região Carbonífera, os rios sofrem grande influência da mineração e beneficiamento de carvão mineral, o que os torna ácidos (Alexandre e Krebs, 1995), interferindo em todo o ecossistema aquático, tanto no tipo de comunidade, nos processos bioquímicos, no balanço de CO_2 , na natureza química da água e na solubilidade de sais (Rodríguez *et al*, 2000).

A acidez é a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. É determinada pela presença de gás carbônico na água. Sua distribuição é em função do pH: $\text{pH} > 8,2$ (CO_2 livre ausente); pH entre 4,5 e 8,2 (acidez carbônica) e $\text{pH} < 4,5$ (acidez por ácidos minerais fortes), resultantes principalmente por despejos industriais (*op cit*).

De acordo com ECP (1982), a qualidade dos efluentes lançados na bacia do Rio Sangão oriundos das fontes pontuais possuem pH variando de 2,0 a 5,0 com média de 3,3 e a carga de acidez de 130,5 $\text{tonCaCO}_3/\text{dia}$. Deve-se ressaltar que o estudo sugere o valor máximo de 20 mgCaCO_3/L para os rios da região, visto que é o valor máximo observado nos rios da bacia do Rio Araranguá não afetados pela mineração, ou seja, a redução na carga dos efluentes lançados no Rio Sangão deveria ser de 98,5%. Dentre as fontes – área o estudo analisou os depósitos de rejeitos, os 65 depósitos que constam no estudo foram agrupados em 18 núcleos de áreas de rejeitos. A lixiviação nas áreas de rejeito resulta em 270,1 $\text{tonCaCO}_3/\text{dia}$ de carga de acidez. O estudo nos coloca ainda que a decomposição dos finos dos efluentes de beneficiamento geram mais 273,3 $\text{tonCaCO}_3/\text{dia}$, totalizando 674,1 $\text{tonCaCO}_3/\text{dia}$. As fontes pontuais representam 19,4% do total da carga poluidora nos recursos hídricos nesta bacia evidenciando ainda mais a problemática que os depósitos de rejeitos são para a região.

Após a extração do carvão, temos o beneficiamento do mesmo, onde separa-se a pirita do carvão, parte desta pirita é retirada, compondo o que denominamos de rejeito e outra parte, que não é removida, acompanha o carvão até a combustão (Filho e Luca, 2000).

A oxidação da pirita a sulfato ocorre por ação de microorganismos em presença de ar, variações térmicas e variações de umidade (chuvas, infiltrações e drenagem) (Prochnow e Porto, 2000), formando a drenagem ácida de mina, na qual é extremamente nociva ao meio ambiente. Além da água ácida drenada da própria mina, em períodos de intensa precipitação pluviométrica, a água, de escoamento superficial ou a percolada através do rejeito, que também é ácida e possui alta concentração de metais dissolvidos, escoam para os rios, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Para Rubio (2006) um dos problemas mais graves que a mineração enfrenta, é a drenagem de águas ácidas, podendo se formar tanto no interior da cava da mina quanto em sistemas de deposição de estéril ou rejeito pela oxidação da pirita, expostas às condições atmosféricas, resultante da lavra da mina. No caso de pilhas de estéril, a formação de águas ácidas inicia-se na parte mais superficial e por serem estas pilhas permeáveis, as águas infiltram-se, lixiviam rochas e metais e surgem ao pé das pilhas, afetando seriamente o desenvolvimento da vegetação e, como consequência, acelerando os processos erosivos.

A geração de drenagem ácida pode durar décadas, séculos ou mais tempo. Pereira e Globbo (2004 *apud* Andrade *et al*, 2006) ressaltam que há notícias de minas antigas que continuam a gerar drenagem ácida mesmo 2 mil anos após terem encerrado suas atividades.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 o padrão de lançamento de efluentes nos corpos de água devem obedecer às condições de pH entre 5,0 e 9,0 e o padrão dos corpos de água nas classes de 1 a 4 devem ter pH entre 6,0 e 9,0, sendo que águas de classe I se referem ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção e classe IV podem ser utilizadas para navegação, harmonia paisagística e usos menos exigentes.

Em monitoramento realizado por UNESC e PLURAL (2003) nos anos 1999-2000 no Rio Sangão, nas proximidades da sua foz no Rio Mãe Luzia, a variação do pH foi de 2,51 a 2,59, não se enquadrando em nenhuma das classes citadas na Resolução do CONAMA, ou seja, as águas do Rio Sangão estão sem condições de qualquer uso.

A condutividade da água constitui uma das variáveis mais importantes no estudo de ecossistemas hídricos, visto que pode indicar a magnitude da concentração iônica e ajudar na detecção de fontes poluidoras (Rodriguez *et al*, 2000). Enquanto as águas naturais apresentam valores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Sperling, 1998). Analisando a Tabela 2, vimos que a média de 2104 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se comparado com os valores citados por Sperling (1998) o Rio Tonim no ponto TN01 está extremamente poluído.

A acidez gerada na bacia e lançadas no Rio Tonim, seja por meio da drenagem ácida do depósito de rejeito, efluente da coqueria ou drenagem das bocas de minas abandonadas (BMA) obteve média de 1.423 mg/L nos doze meses monitorados, sendo que o mês de fevereiro obteve a maior concentração, chegando a 2.100 mg/L e o mês de maio a menor concentração, devido aos meses antecedentes (março e abril) onde a precipitação atingiu valores elevados, principalmente no mês de março onde a Precipitação atingiu 321,5 mm. O carreamento maior de resíduos ácidos se dá em maior volume em épocas de maior precipitação, por isso como nos meses de fevereiro, março e abril tivemos grande volume de chuvas, grande parte da carga de resíduos ácidos que estavam acumulados foram despejados nos cursos de água. Na Figura 4 estão representados os valores de concentração e carga de acidez durante os doze meses de monitoramento.

A concentração de acidez no ponto TN02 (curso de água não atingido pela mineração dentro da microbacia do Rio Tonim) foi de 23,1 mgCaCO₃/L. Em estudo realizado no ano de 1982 pela ECP na bacia do Rio Araranguá, o valor máximo da concentração de acidez nos rios não atingidos pela mineração foi de 20 mgCaCO₃/L, logo pode-se considerar que o ponto TN02 está dentro dos padrões exigidos. O estudo ressaltava que a redução dos efluentes lançados no Rio Sangão para este

atingir os padrões de qualidade exigidos deveria ser de 98,5%. Se analisarmos a média mensal de 1.428 mgCaCO₃/L no ponto TN01, para este atingir os 23,1 mgCaCO₃/L, que seria o ideal, deve haver uma redução de 98,4% no lançamento de carga poluente. Ou seja, se analisarmos o ponto TN01, não houve redução no lançamento de carga poluente nos últimos 26 anos.

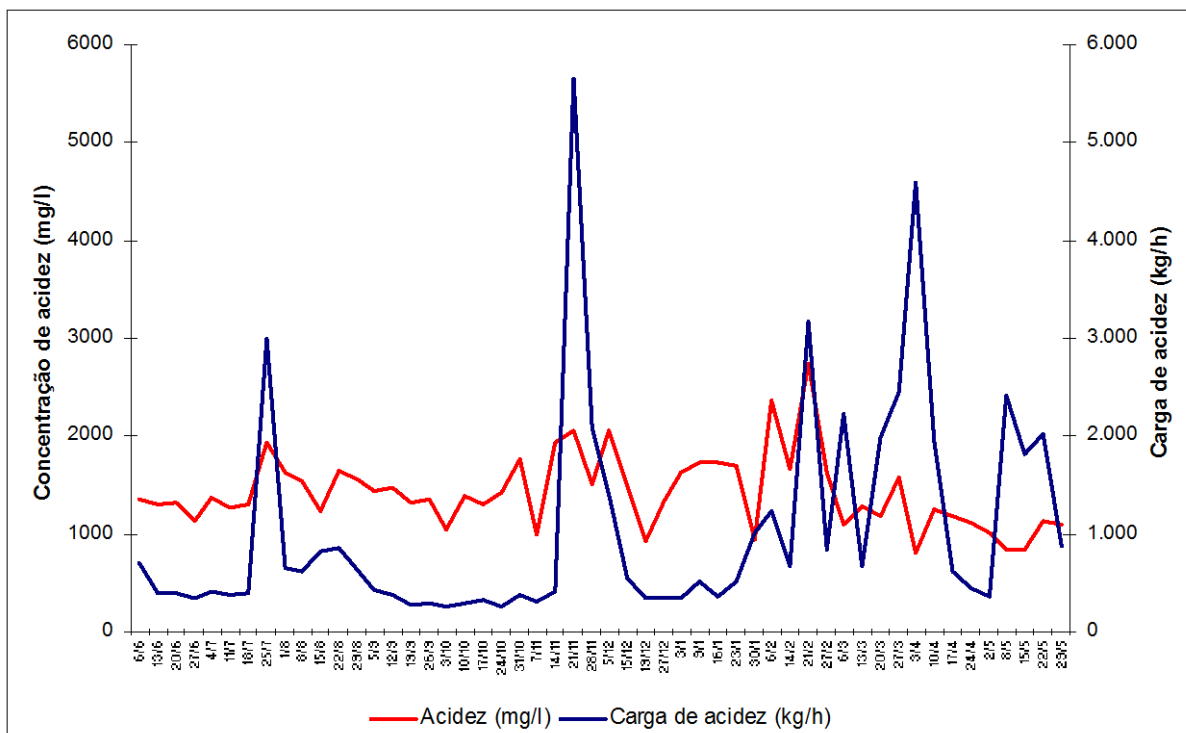


Figura 4 - Evolução da concentração e carga de acidez nas 52 semanas monitoradas (12 meses) na bacia do Rio Tonim.

A carga de acidez está intimamente ligada à vazão dos cursos de água e a precipitação da área. No ponto TN01 o mês de maior carga de acidez foi novembro de 2006, chegando a 2.113 kgCaCO₃/h, como mostra a Figura 5, porém o mês de maior precipitação foi março de 2007 (321,5mm) onde a carga de acidez chegou a 1.835 kgCaCO₃/h. Isso se dá pelo baixo volume de precipitação nos meses antecedentes a novembro (Figura 6).

Os maiores valores de carga de acidez estão relacionados, com épocas de maior precipitação, indicando que os rejeitos expostos possuem muita reatividade química, o que se justifica por meio da existência de minas desativadas e que ainda não recuperaram suas áreas degradadas, contribuindo com drenagem ácida de subsolo ou através da lixiviação de rejeitos e atividades de rebeneficiamento de rejeitos carbonosos, atividades essas que se caracterizam em revolver o material depositado há anos, e que, superficialmente, apresentam-se com mais

estabilidade química, expondo o material soterrado e com maior reatividade (UNESC e PLURAL, 2003).

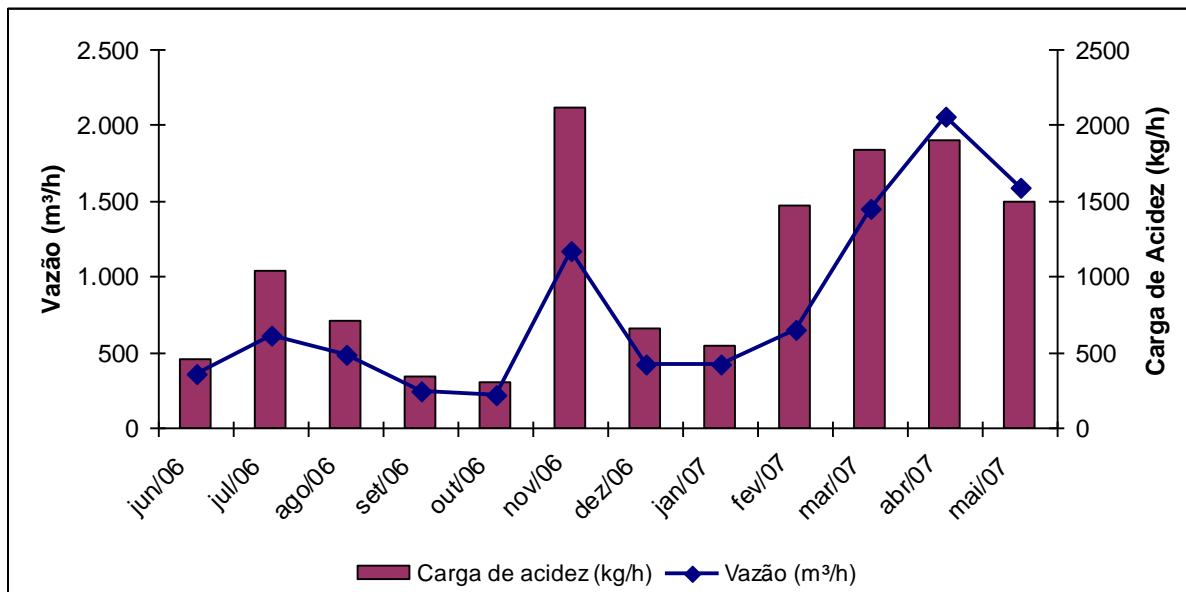


Figura 5 - Carga de acidez (kg/h) gerados no ponto TN01 na bacia do Rio Tonim.

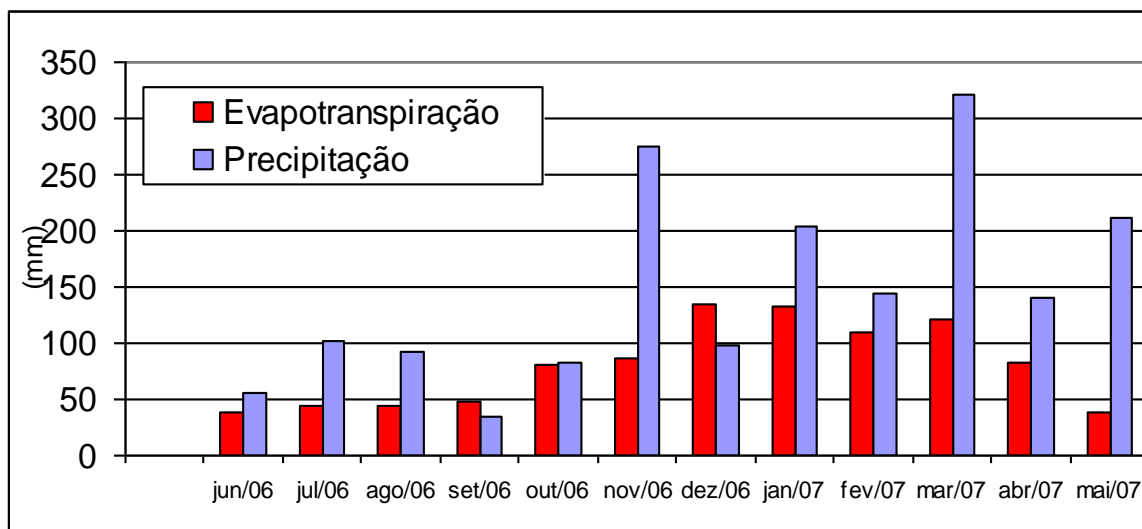


Figura 6 - Variação da precipitação e evapotranspiração no período de monitoramento.

O sulfato é um produto gerado pela oxidação da pirita, em zonas de mineração de carvão e apresenta uma relação direta com os valores do pH das águas (Alexandre, 2000). A indústria é responsável pela maioria das diferentes substâncias poluentes encontradas na água, como os metais pesados que reduzem a capacidade autodepurativa das águas, pois a ação tóxica sobre os

microorganismos reduz a regeneração através da decomposição dos materiais orgânicos (Fellenberg, 1980).

Os metais são um problema muito sério devido a sua acumulação no meio ambiente e podem ser transferidos através da cadeia trófica, causando malefícios à saúde humana, atingindo grandes áreas e há dificuldades em se limitar e controlar a sua dispersão (Martin e Leal, 2000) e para Cerutti e Flores (2000) as ações antrópicas são as que mais contribuem para as alterações de metais em algumas regiões, principalmente na mineração de carvão, onde altas concentrações de metais pesados são encontrados em todas as fases do processo, desde a extração até a utilização do carvão em usinas termelétricas.

Todo elemento químico é tóxico quando absorvido além da capacidade de assimilação do organismo receptor (Allen *et al*, 1993 *apud* Machado *et al*, 2000). O ferro e o manganês, por exemplo, são considerados elementos essenciais para os organismos (Schroeder, 1973 *apud* Machado *et al*, 2000), porém cada organismo apresenta uma faixa de tolerância aos elementos químicos (Machado *et al*, 2000), se os valores ultrapassarem esta faixa estarão fora dos padrões de qualidade permitidos.

Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes (CETESB, s/a), sendo assim também está associado à poluição pela atividade mineraria do setor carbonífero. Os elementos ferro e manganês apresentam comportamento químico semelhante, assim podem ser abordados conjuntamente (Sperling, 1998).

Junto às camadas de carvão são encontrados nódulos de ferro e manganês, resultando na contaminação das águas impactadas pela extração e beneficiamento de carvão mineral por estes elementos (Alexandre, 2000). O padrão de potabilidade das águas determina valores máximos de 0,3 mg/L para o ferro e 0,1 mg/L para o manganês (Sperling, 1998).

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 357/2005 os padrões dos corpos de água para as águas de classe I a IV é de no máximo 250 mg/L de sulfatos e 0,1 mg/L de alumínio (classes I e II) e 0,2 mg/L de alumínio (classes III e IV), sendo que a média encontrada no ponto TN01 foi de 1.565 mg/L de sulfatos e 161,5 mg/L de alumínio. O padrão para a concentração de ferro é de no máximo 0,3 mg/L para águas de classes I e II e 5,0 mg/L para águas de classes III e IV. A média encontrada de 205,9 mg/L Fe confirma a poluição do Rio Tonim, pois juntamente com as camadas de carvão são encontrados nódulos de ferro e manganês, que são drenados aos corpos de água e o padrão de lançamento, segundo Resolução CONAMA nº 357/2005 é de no máximo 15 mg/L.

O manganês encontrado foi de 4,3 mg/L, sendo que o máximo permitido é de 0,1 mg/L para águas de classes I e II e para o padrão de lançamento e 0,5 mg/L para águas de classes III e IV.

A carga de sulfatos e metais pesados lançados nos cursos de água também varia de acordo com a vazão, os metais pesados são liberados dos sedimentos quando são despejados na água resíduos industriais ácidos. O despejo da água remove os sedimentos do lugar, o que facilita o desprendimento dos metais. Fellenberg (1980), cita o exemplo do Rio Neckar, onde a concentração de metais pesados durante épocas de enchentes (a maior velocidade da água das enchentes remove sedimentos) é 10 vezes superior à concentração destes em épocas normais.

Na Figura 7 são representadas a carga de sulfatos, alumínio e ferro e a variação da vazão no período monitorado, onde fica evidenciada a relação entre estes valores. Na figura 8 é representada a variação da carga de manganês com a vazão.

O SIECESC/CPRM monitoram ao longo dos anos vários pontos na bacia carbonífera no sul do Estado, a fim de identificarem a evolução da degradação gerada pela mineração de carvão. Alguns destes pontos se localizam na bacia do Rio Tonim e seu entorno. Sendo assim, podemos comparar com o ponto TN01 monitorado neste estudo.

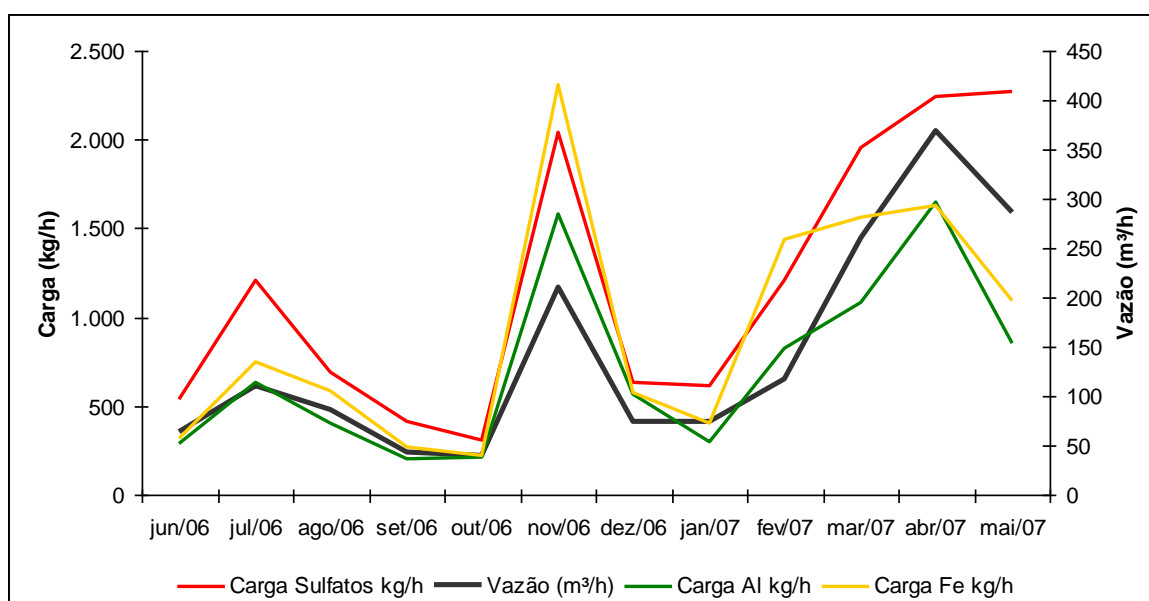


Figura 7 - Valores médios mensais da carga de sulfatos, alumínio e ferro com a vazão (m³/h) no ponto TN01 na bacia do Rio Tonim.

Os pontos AR036 e AR037 se localizam a montante do ponto TN01; o ponto AR034d se localiza na foz do Rio Tonim que desemboca no Rio Sangão. O ponto AR031 fica no Rio Sangão a montante da confluência com o Rio Tonim e o ponto AR032 também no Rio Sangão a jusante da foz com o Rio Tonim. Estes cinco pontos são monitorados duas vezes por ano pelo SIECESC/CPRM. Foi feito à média das coletas realizadas nos dias 26/09/2006 e 14/03/2007,

mesmo período do monitoramento realizado no ponto TN01. Para uma maior confiabilidade no comparativo, de todas as coletas feitas no ponto TN01 foram consideradas apenas as duas realizadas nas datas próximas ao monitoramento do SIECESC/CPRM, conforme pode ser visualizado na Tabela 3.

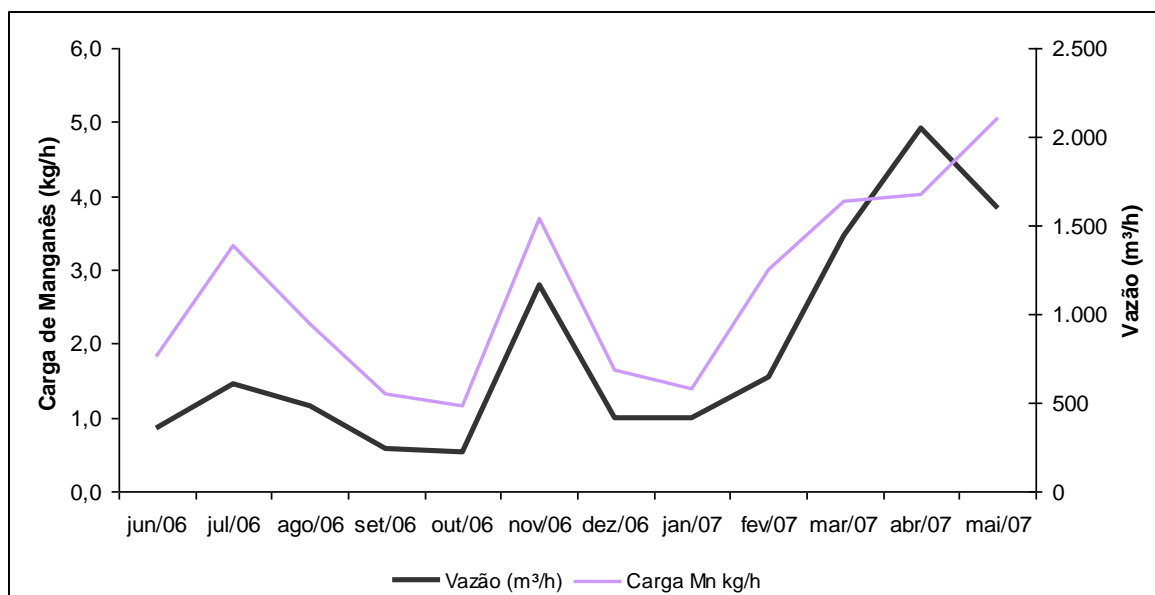


Figura 8 - Comparativo da média mensal da carga de manganês com a vazão (m³/h) no ponto TN01 na bacia do Rio Tonim.

Tabela 3 - Comparativo da qualidade da água nos pontos de monitoramento localizados na bacia do Rio Tonim.

Parâmetros	AR037	AR036	TN01	AR034d	AR032	AR031	TN02
pH	2,6	2,8	2,8	2,7	2,8	2,9	7,5
Acidez (mg/L)	6513,8	1223,3	1314,2	1035,8	964,6	1059,2	23,1
Condutividade (uS/cm)	3743,2	1553,2	1585,5	1417,0	1365,1	1404,5	128,1
Sulfatos (mg/L)	4625,5	1315,5	1528,0	1280,5	989,9	1103,0	33,5
Alumínio (mg/L)	648,0	122,0	126,3	101,3	89,2	91,3	ND
Ferro (mg/L)	1268,2	168,7	176,1	120,7	140,0	192,1	0,42
Manganês (mg/L)	11,8	4,3	4,6	3,8	4,5	5,14	ND

O ponto AR037 se localiza próximo ao depósito de rejeito, por isso seus valores são bem elevados, se comparado com o ponto AR036 à jusante do mesmo, conforme Tabela 3. Ao longo do percurso a acidez reduz em 81%, devido à neutralização dos cursos de água que desembocam no

Rio Tonim entre o ponto AR037 e AR036. A condutividade reduz em 59%, e a concentração de sulfatos reduz em 72%, alumínio em 81%, ferro em 87% e manganês em 64%.

A qualidade da água piorou no ponto TN01, em relação ao anterior AR036, a acidez aumentou 7%, condutividade 2%, sulfatos 16%, alumínio 4%, ferro 4% e manganês 8%. Isso ocorreu devido ao ponto TN01 se localizar a jusante da contribuição da coqueria existente na área, na qual os efluentes contaminados gerados pela mesma, são lançados no Rio Tonim.

Porém ao longo do percurso até a sua foz, estes lançamentos são diluídos e neutralizados, reduzindo em 21% a acidez, 11% a condutividade, 16% sulfatos, 20% alumínio, 31% ferro e 18% manganês. Conseqüentemente melhorando a qualidade da água do Rio Sangão, que a jusante da foz do Rio Tonim, diminui seus poluentes em 9% a acidez, 3% a condutividade, 10% sulfatos, 2% alumínio, 27% o ferro e 12% manganês.

O SIECESC/CPRM monitora quatro Bocas de Minas Abandonadas (BMA) localizadas na microbacia do Rio Tonim, cuja localização de cada uma pode ser visualizada na Figura 2 (02BM0116, 02BM0111, 04BM0102 e 04BM0166), na qual lançam água para os cursos de água da área em estudo. Na Tabela 4 podem ser visualizados os resultados da análise da qualidade da água e vazão dessas bocas de minas.

Tabela 4. Parâmetros da qualidade da água das bocas de mina

Parâmetro	Boca de mina				Soma
	02BM0116	02BM0111	04BM0102	04BM0166	
pH	3,5	2,9	3	4,1	
Acidez (mg/L)	427,3	343	328,3	139,9	1238,5
Carga Acidez (kg/h)	98,9	17,7	6,1	2,6	396,4
Condutividade. (us/cm)	1707,4	1673,5	1302,7	733,2	5416,9
Sulfatos (mg/L)	1084	735,6	390,9	359,2	2569,7
Carga Sulfatos (kg/h)	250,9	38	7,2	6,7	822,5
Alumínio (mg/L)	29,2	28,8	26,1	17,3	101,4
Carga Al (kg/h)	6,8	1,5	0,5	0,3	32,5
Ferro - Fe(mg/L)	94	23,2	24,4	7,9	149,4
Carga Fe (kg/h)	21,8	1,2	0,4	0,1	47,8
Manganês -Mn (mg/L)	5	3,6	2,8	1,2	12,6
Carga Mn (kg/h)	1,2	0,2	0,1	0	4
Vazão (m ³ /h)	231,4	51,7	18,4	18,5	320,1

A vazão total das quatro bocas de minas de 320,1 m³/h nas três campanhas de monitoramento, geraram 396,4kgCaCO₃/h, 37% do total gerado no ponto TN01. Em estudo realizado por ECP (1982) na bacia do Rio Sangão, as fontes pontuais, que estão incluídas as BMA representaram 33% da carga poluente gerada, enquanto os depósitos de rejeito (fontes-área) representaram 67%. O mesmo ocorre na bacia do Rio Tonim, 63% da carga de acidez é decorrente de outras fontes poluentes, provavelmente do depósito de rejeito e da coqueria existentes na bacia.

4 CONCLUSÕES

No que se refere a qualidade da água no ponto TN01 da bacia do Rio Tonim, a média do pH foi de 2,8, condutividade de 2.104 μ S/cm, sulfatos de 1.565,0 mg/L, alumínio de 161,5 mg/L, ferro de 205,9 mg/L e manganês de 4,3 mg/L. Comparando estes valores com o máximo permitido para obedecer as condições básicas de potabilidade, o Rio Tonim, neste ponto, pode ser considerado extremamente poluído.

A concentração de acidez obteve média de 1.423 mg/L com carga de 1.074 kg/h ou 25,8 ton/dia. A carga de acidez drenada aos cursos de água está intimamente ligada à vazão e precipitação. Altos valores de precipitação geram altos valores de carga de acidez, principalmente se o período antecedente foi de estiagens, assim como a carga de sulfatos e metais pesados (alumínio, ferro e manganês) também variam de acordo com a vazão.

As bocas de minas contribuem com 37% do total da carga de acidez drenada para o Rio Tonim no ponto TN01, o restante (63%) é proveniente do escoamento superficial (lixiviação dos depósitos de rejeito e produção de coque).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina –SIECESC, pelo apoio recebido para a execução desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDRE, N. Z. (2000). “*Análise integrada da qualidade das águas da Bacia do Rio Araranguá (SC)*”. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000. 292p
- ALEXANDRE, N. Z.; KREBS, A. S. J. (1995). “*Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma*”, SC. Porto Alegre: CPRM.

ANDRADE, M. C. ;SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; ANDRADE. V. L.L>, SANTOS, M. L.P. ; GRANDCHAMPS, C. A.P. (2006). “A mineração e o uso da água na lavra e no beneficiamento de minério”. In: BRASIL. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração. DOMINGUES, A. F.; BOSON, P. H. G.; ALIPAZ, S. (Org). Brasília: ANA. p.90-122.

Banco Interamericano de Desenvolvimento (2003). “*Melhorias na gestão ambiental e na qualidade da água em operações de mineração de carvão em Santa Catarina*”. E&E solutions Inc. e Mitsubishi Reaserch Institute, INC: agosto de 2003.

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral (2001). “*Projeto conceitual para recuperação ambiental da bacia carbonífera sul catarinense.*” CD-ROM, 1ª edição, ISBN 85-7227-143-0.

CERUTTI, P. F.; FLORES, F. E. V.(2000). “*Bioindicação da contaminação atmosférica decorrente do uso do carvão*”. In: Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidad. 1006 p.

CETESB (2007). “*Variáveis de qualidade da água*”. São Paulo: CETESB. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>. Acesso em 22 de janeiro de 2007.

CONAMA. (2005). *Resolução nº 357 de 17 de março de 2005*. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em 15 de junho de 2008.

DUFLOTH, J. H.; CORTNA, N.; VEIGA; M. da. MIOR, L.C. (2005). *Estudos básicos regionais de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, CD-ROM.

ECP – Engenheiros, Consultores e Projetistas; FATMA – Fundação de Amparo a Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina. (1982). *Projeto de conservação e recuperação ambiental da região sul do Estado de Santa Catarina*. Projeto H – Sangão: Correção da poluição do sistema hídrico. Florianópolis, SC, Volumes I e II.

FELLENBERG, G. (1980). *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo: EPU – Spinger – Ed. da Universidade de São Paulo.

FILHO, L. C. Z.; LUCA, S. J. de. (2000). “*Remoção por biolixiviação de enxofre de carvão do RS como forma de atenuação nas emissões de SO₂*”. In: Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidade. 1006 p.

GTA – Grupo Técnico de Assessoramento.(2007). *Primeiro relatório de monitoramento dos indicadores ambientais*. Criciúma, SC.

IPAT/UNESC. (2007). *Indústria Extrativa Mineral*. Criciúma, SC: IPAT/UNESC.

MACHADO, N. A. F. et al. (2000). “*Avaliação sedimentológica de uma área carbonífera*”. In: Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidade. 1006 p.

- JICA. Japan International Cooperation Agency. (1988). “*The feasibility study on the Federative Republic of Brazil*”. Japão, Main reporter. 397p.
- MARTIN, J. G.; LEAL, C. A. (2000). “*A virtude da moderação: uma orientação de política nacional para o carvão no sul do Brasil*”. In: Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 1006 p.
- NETO, R. R.; GOMES, C. J. B.; IZIDORO, G.; VIEIRA, P. C.; POZZA, E. V. ESCOBAR, A. T.; SMANIOTTO, A. A.; RUBENSAM, L.; SANTOS, V. L. SCHNEIDER, C.H.; MADEIRA, V. (2004). “*Estimativa da carga poluente de drenagem ácida de mina da atividade de mineração de carvão por simulação hidrológica*”. Estudo de caso da Microbacia do Rio Tonim, Criciúma/SC.
- PROCHNOW, T. R.; PORTO, M. L. (2000). “*Avaliação de uma área de rejeitos da mineração de carvão com vistas à bioindicadores vegetais para metais pesados*”. In: Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidade. 1006 p.
- RODRIGUEZ, M. T. R. et al. (2000). “*Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais e avaliação da atividade bacteriana em ambientes lóticos receptores a drenagem de mineração de carvão*”. In: Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: Editora da Universidade. 1006 p.
- RUBIO, R. F. (2006). “*A gestão dos recursos hídricos e a mineração: visão internacional*”. In: BRASIL. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração. DOMINGUES, A. F.; BOSON, P. H. G.; ALIPAZ, S. (Org). Brasília: ANA. p.19-50.
- SPERLING, E. V. (1998). “*Qualidade da água em atividades de mineração*”. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. Recuperação de áreas degradadas. 1ª ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas.
- UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense; PLURAL Consultores Associados. (2003) *Estudos de Impacto Ambiental da Usina Termelétrica Sul Catarinense – USITESC*. Criciúma, SC. Volume III.
- VALIATI, D.; ALMEIDA, D. M. (2006).” *Gestão dos recursos hídricos na mineração de carvão – caso da mina do Trevo – Siderópolis – SC*”. IN: BRASIL. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração. DOMINGUES, A. F.; BOSON, P. H. G.; ALIPAZ, S. (Org). Brasília: ANA.