

CARACTERIZAÇÃO, VULNERABILIDADE E RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO RELACIONADO À FORMAÇÃO RIO BONITO NA REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

Antonio Sílvio Jornada Krebs¹

Resumo – A Formação Rio Bonito, de ampla distribuição na região carbonífera de Santa Catarina, constitui-se na mais importante unidade geológica no que diz respeito à disponibilidade de água subterrânea. Seu terço superior (Membro Siderópolis), constituído predominantemente por rochas areníticas que intercalam camadas de siltitos carbonosos e carvão, possui múltiplos aquíferos geneticamente relacionados a diferentes intervalos litológicos. As atividades relacionadas à lavra e ao beneficiamento de carvão podem ser classificadas como de alto índice de contaminação por apresentarem alta concentração de elementos contaminantes. Na região carbonífera, a presença de material piritoso, associado às camadas de carvão, constitui a maior fonte de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

A caracterização hidrogeológica, avaliação da vulnerabilidade e riscos de contaminação permitirão que sejam adotadas medidas visando à mitigação dos impactos.

Abstract – The Rio Bonito Formation, widely spread in Santa Catarina coal region, is the most important geological unity regarding the undergroundwater availability. Its upper section (Membro Siderópolis), basically formed by sandstone rocks wich intercalate shale and coal, contains several aquiferous genetically related to different litologic intervals.. The activities regarding the coal explotation and preparation may be classified as presenting a high degree of contamination as they contain high concentrations of contaminative elements. In the coal region the presence of pyritiferous material associated to coal layers is the mayor contamination source of superficial water and undergroundwater.The hydrogeological characterization, the vulnerability and contamination risks evaluation will permit to adopt some measures in order to alleviate the negative impacts.

¹ Krebs, A. S. J. CPRM – Superintendência Regional de Porto Alegre – rua Banco da Província, 105
Cep:90.840-030 Tel: 0XX51-32337311(PABX) Fax:0XX51-32337772 e-mail krebs@cyber.com.br

Palavras-chave – vulnerabilidade de aquífero, contaminação de aquífero

INTRODUÇÃO

A área correspondente à bacia carbonífera de Santa Catarina situa-se no sul do estado e é drenada por três bacias hidrográficas a saber: Bacia do Araranguá, Bacia do Tubarão e Bacia do Urussanga, conforme Figura 1. Nesta área, onde os recursos hídricos superficiais estão seriamente comprometidos pelas atividades de lavra e beneficiamento de carvão, os recursos hídricos subterrâneos adquirem fundamental importância tanto para o abastecimento humano como para a implantação de qualquer empreendimento que demande uma grande quantidade de água. Entende-se que a gestão dos recursos hídricos deva incluir tanto os recursos superficiais como os subterrâneos, incorporando cada um deles no sistema de acordo com suas características específicas, pois, de qualquer maneira, todo o controle exercido sobre um recurso acabará interferindo no outro.



Figura 1 – Mapa de Localização das Bacias Hidrográficas

Fonte: Krebs, 1997

IDADE		TERMINOLOGIA	AMBIENTE/FORMAÇÃO		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Holoceno		Depósitos Aluvionares Atuais	Sedimentos argilosos, argilo-arenosos, arenosos e conglomeráticos depositados junto às calhas ou planícies dos rios.
			Sistema Laguna-Barreira IV	Depósitos Praiais e eólicos	Areias quartzosas, esbranquiçadas, com granulometria fina a média, com estratificação plano paralela (fácies praial) e cruzada de pequeno a grande porte (fácies eólica).
				Depósitos Paludais	Turfas ou depósitos de lama rico em matéria orgânica.
				Depósitos Lagunares	Areias quartzosas junto às margens e lamas no fundo dos corpos de água.
				Depósitos Flúvio-Lagunares	Areias siltico-argilosas, com restos de vegetais, com frequentes depósitos biodetríticos
	Pleistoceno	Sistema Laguna-Barreira III	Depósitos Praiais e Eólicos e Retrabalamento Eólico Atual	Areias quartzosas médias, finas a muito finas, cinza-amarelado até avermelhado. Nas fácies praiais são comuns estruturas tipo estratificação plano paralela, cruzada acanalada. Nas fácies eólicas é frequente a presença de matriz rica em óxido de ferro, que confere ao sedimento tons avermelhados.	
Terciário/Quaternário	Plioceno/Holoceno	Sistema de Leques Aluviais	Depósitos de Encostas e Retrabalamento Fluvial	Cascalhos areias e lamas resultantes de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material. Nas porções mais distais, depósitos resultantes do retrabalamento por ação fluvial dos sedimentos colúvio-aluvionares.	
MESOZÓICO	Cretáceo	Inferior	Grupo São Bento	Serra Geral	Derrames basálticos, soleiras e diques de diabásio de cor escura, com fraturas conchoidais.
	Jurássico			Superior	Botucatu
	Triássico	Inferior	Grupo Passa Dois	Rio do Rasto	Arenitos finos bem selecionados geometria lenticular, cor bordô com estratificação cruzada acanalada. Siltitos e argilitos cor bordô, com laminação plano paralela.
PALEOZÓICO	Permiano	Superior	Grupo Passa Dois	Terezina	Argilitos folhelhos e siltitos,intercalados com arenitos finos , cor violáceos.
				Serra Alta	Folhelhos , argilitos e siltitos cinza-escuros, com lentes de calcário impuro.
				Irati	Folhelhos e siltitos pretos, folhelhos pirobetuminosos e margas calcáreas.
	Inferior/Superior	Grupo Guatá	Palermo	Siltitos cinza-escuros, siltitos arenosos cinza claro, interlaminaados, bioturbados, com lentes de arenito fino na base.	
			Rio Bonito	Siderópolis	Arenitos cinza-claros, finos a médios, quartzosos, com intercalações de siltitos carbonosos e camadas de carvão
				Paraguaçu	Siltitos cinza escuros com laminação ondulada intercalado com arenitos finos.
Inferior	Grupo Itararé	Rio do Sul	Triunfo	Arenitos cinza-claros, quartzosos ou feldspáticos, sigmoidais. Intercala siltitos.	
			Folhelhos e siltitos várvidos com seixos pingados, arenitos quartzosos e arenitos arcoseanos, diamectitos e conglomerados.		
PRÉ-CAMBRIANO	Superior	Granitóides tardi a pós tectônicos			Granitóides cor cinza-avermelhados, porfíricos ou porfíroides, aparentemente isotropos.

Figura 2 - Coluna estratigráfica da área correspondente à bacia carbonífera de Santa Catarina

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

O mapa geológico elaborado por KREBS (1997) mostra que a Formação Rio Bonito possui ampla distribuição na área correspondente à bacia carbonífera, aflorando de forma contínua em grandes porções dos municípios de Siderópolis, Lauro Müller, Criciúma e Treviso. A coluna estratigráfica (Figura 2) sintetiza a geologia regional da referida bacia

As informações geológicas interpretadas do ponto de vista hidrogeológico mostram que a Formação Rio Bonito constitui um importante sistema aquífero com porosidade intergranular que apresenta múltiplos intervalos aquíferos relacionados geneticamente às diferentes associações litofaciológicas presentes no Membro Siderópolis e no Membro Triunfo. No caso do Membro Siderópolis, KREBS e NOSSE (1998) individualizaram 3 intervalos aquíferos, na região de Criciúma, relacionados às associações litofaciológicas individualizadas por DIAS (1995), ao estudar a mesma região. Os intervalos foram denominados de: Sequência Litofaciológica Superior (Areias Transgressivas); Sequência Litofaciológica Média (Sequência Barro Branco) e Sequência Litofaciológica Inferior (Sequência Bonito).

Em níveis estratigráficos mais profundos, ocorrem os intervalos aquíferos relacionados à base da Formação Rio Bonito (Membro Triunfo).

A Associação Litofaciológica Superior (Areias Transgressivas) corresponde ao topo do Membro Siderópolis. Possui uma espessura média de 30 m.

Geneticamente, relaciona-se a areias transgressivas que capeiam a camada de carvão Barro Branco. Litologicamente é constituída por arenitos finos a muito finos, cinza-claro, essencialmente quartzosos, muito friáveis, porosos e permeáveis. A geometria da camada é lenticular, com estruturação interna formada por estratificação plano-paralela, com freqüentes truncamentos por ondas. Em direção à base, intercalam-se pelitos carbonosos; e na sua porção superior, gradam lateralmente para uma seqüência constituída por interlaminação de areia-silte-argila, com freqüentes estruturas tipo “wavy” e “linsen”, já pertencentes à Formação Palermo.

A Associação Litofaciológica Média (Sequência Barro Branco) aflora principalmente ao longo da calha dos principais cursos d’água que drenam a região carbonífera. Localmente, é identificada em cotas mais elevadas, quando está relacionada a blocos tectonicamente soerguidos, onde a camada Barro Branco foi erodida.

Esta seqüência arenosa é limitada superiormente pela linha de afloramento da camada de carvão Barro Branco. Com espessura média de 35m, o pacote é constituído por arenitos médios a grossos, cor cinza-esbranquiçado, arcossianos, por vezes conglomeráticos, moderadamente classificados, com abundante matriz areno-argilosa e, localmente, com cimento-ferruginoso ou carbonático. As camadas apresentam geometria tabular ou lenticular, com estruturação interna constituída por

estratificação cruzada acanalada e, mais raramente, tabular de pequeno porte. Em sua porção média, intercala a camada de carvão Irapuá.

Esses arenitos, embora possuam abundante matriz areno-argilosa, comportam-se como bons aquíferos, sendo bastante porosos, permeáveis e de boa transmissividade. Pelo fato de estas camadas arenosas intercalarem-se com camadas argilosas impermeáveis, os múltiplos aquíferos comportam-se como confinados ou semi-confinados.

A Associação Litofaciológica Inferior (Seqüência Bonito) aflora em pontos isolados da área correspondente à bacia carbonífera, sendo identificada principalmente através dos perfis litológicos dos furos de sonda realizadas para pesquisa de carvão. Os referidos perfis indicam que essa seqüência é constituída por uma série de pulsos areno-pelíticos e que possui espessura média de 30 m. Os arenitos são finos a muito finos, cinza-claro, quartzosos, com pouco cimento carbonático e laminação paralela ou convoluta. A fração fina é constituída por siltitos cinza-escuro a preto, folhelhos carbonosos e camadas de carvão. A camada de carvão Bonito marca o topo desta seqüência.

Abaixo da Seqüência Bonito (base do membro Siderópolis), ocorre o Membro Paraguassu, que possui uma espessura média de 35 m e aflora somente nas proximidades da cidade de Lauro Müller. Do ponto de vista litológico, é constituído predominantemente de rochas pelíticas (intercalação rítmica de siltitos e folhelhos), o que faz com que este membro seja considerado um aquíclode.

O Membro Triunfo aflora somente nas proximidades da cidade de Lauro Müller, sendo identificado principalmente através dos perfis litológico dos furos de sonda. Apresenta uma espessura média de 65 m.

Litologicamente, é constituído por arenitos cinza esbranquiçados, com granulometria variável de fina até muito grossa, quartzo-feldspáticos, com cimento carbonático. Na porção superior, predominam arenitos finos a médios e na base ocorre uma maior incidência de arenitos grosseiros. Os perfis litológicos mostram que junto ao contato com a Formação Rio do Sul ocorrem, geralmente, camadas areno-conglomeráticas, quartzo-feldspáticas, com cimento carbonático.

As camadas apresentam geometria sigmoidal, com aspecto maciço ou com estratificação cruzada acanalada, de pequeno e médio porte.

Os estudos realizados indicaram que estes aquíferos possuem geometria tabular, com regime de fluxo livre, confinado ou localmente semi-confinados, quando capeados por camadas de siltitos carbonosos ou de carvão.

O modelo hidrogeológico estabelecido através de linhas de fluxo e equipotenciais, bem como informações geológicas e geomorfológicas, indicaram claramente que onde aflora a Formação Rio Bonito a recarga se dá por infiltração direta a partir das precipitações.

A recarga se processa também por infiltração indireta, a partir das falhas geológicas presentes

na área. Verificou-se ao longo das galerias de várias minas de carvão que junto à zona de algumas falhas importantes que seccionam a seqüência gonduânica, tais como a Falha Mãe Luzia, Falha Criciúma e várias outras sem denominação, ocorre infiltração de água. Quando a Formação Rio Bonito é sobreposta pelas outras formações geológicas, a recarga também se processa pela infiltração das camadas superiores até alcançar o intervalo aquífero inferior.

As observações realizadas em subsolo, bem como os mapas de controle de lavra em subsuperfície e informações de furos de sonda mostram que grande parte das galerias das minas explotada em épocas passadas pelas diversas empresas carboníferas encontra-se hoje cheia de água. O modelo hidrogeológico proposto, considerando-se área de recarga, área de circulação e área de descarga, indica que estas galerias antigas contribuem para a recarga do intervalo aquífero médio (Seqüência Barro Branco) e que, em alguns casos, estas galerias antigas alimentam também o intervalo aquífero superior (Seqüência Areias Transgressivas).

No município de Siderópolis, constatou-se que onde o rio Mãe Luzia e seus principais tributários fluem sobre rochas areníticas da Formação Rio Bonito. Eles apresentam um caráter influente, isto é, contribuem para a recarga dos intervalos aquíferos da referida formação. Este fato também foi constatado no município de Criciúma com relação aos rios Sangão e Criciúma.

VULNERABILIDADE E RISCOS DE CONTAMINAÇÃO

Para a avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas, considerou-se a vulnerabilidade de cada aquífero e a carga contaminante potencial que atua sobre o mesmo.

Como vulnerabilidade, conforme FOSTER e HIRATA (1993), entende-se a maior ou menor suscetibilidade à contaminação do material de subsuperfície a um evento contaminador. Partindo-se deste princípio, pode haver alguns casos em que o aquífero apresenta alta vulnerabilidade sem riscos de contaminação, pela ausência de uma carga significativa e vice-versa.

Como riscos de contaminação, de acordo com FOSTER et al. (1987), entende-se a probabilidade de as águas subterrâneas serem contaminadas com concentrações acima dos padrões recomendados pela OMS para a qualidade da água para consumo humano.

A conversão do risco em uma séria ameaça à qualidade do abastecimento por fontes de águas subterrâneas dependerá da mobilidade dos contaminantes no próprio aquífero.

Sabe-se que os aquíferos muito contaminados não podem ser recuperados totalmente. De acordo com FOSTER (op. cit.), análises de tentativas de limpeza, em vários países, têm demonstrado que os resultados a que se chegou são limitados, sobretudo quando envolvendo substâncias extremamente tóxicas. Até o momento, desconhecem-se métodos que permitam a completa remoção de produtos contaminantes dos corpos hídricos.

O maior ou menor risco de contaminação é função dos perfis dos solos e condicionantes hidrogeológicos de cada aquífero. Até pouco tempo atrás considerava-se que esses sistemas-solos eram tidos como suficientemente efetivos para a degradação da disposição de excrementos humanos e efluentes domésticos. Entretanto, os perfis de solos e condicionantes hidrogeológicos não possuem o mesmo comportamento na atenuação de contaminantes, pois esta variará completamente segundo o tipo e processo de contaminação em um determinado ambiente.

A atividade humana em superfície pode alterar e introduzir novos mecanismos de recarga ao aquífero, modificando a taxa, a frequência e a qualidade das águas subterrâneas. Pelo exposto, deve-se dar muita atenção à carga contaminante gerada por atividades humanas em superfície. Mesmo que haja uma grande variedade, observa-se que somente algumas delas são responsáveis pelo risco máximo de contaminação das águas subterrâneas.

Na região carbonífera, ocorrem diferentes tipos de fontes de contaminação. ALEXANDRE et al. (1995) identificou 29 atividades consideradas potencialmente poluidoras, sendo que as mais efetivas com relação à poluição dos recursos hídricos referem-se às atividades de lavra e beneficiamento de carvão.

Devido às atividades de mineração de carvão, os múltiplos intervalos aquíferos relacionados à Formação Rio Bonito têm comportamento bastante distinto no que diz respeito à potencialidade, vulnerabilidade e riscos de contaminação.

Os aquíferos do topo da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis), tanto aqueles relacionados à Seqüência Superior (Areias Transgressivas) como o da Seqüência Média (Seqüência Barro Branco), que afloram com maior frequência na área estudada e são constituídos predominantemente por litologias arenosas, possuem uma alta vulnerabilidade natural.

O fato de ocorrerem pilhas de rejeito piritoso sobre estas rochas arenosas confere aos aquíferos um alto risco de contaminação. Estes dois fatores, áreas mineradas em sub-superfície e disposição de rejeito piritoso, sugerem que os aquíferos múltiplos, relacionados à Seqüência Superior e partes da Seqüência Média, já estejam contaminados.

Os intervalos aquíferos relacionados à Seqüência de Areias Transgressivas (Seqüência Superior), pelo fato de capearem a camada de carvão Barro Branco, são os mais comprometidos em toda área onde houve atividades de mineração de carvão a céu-aberto e em subsuperfície, bem como disposição de rejeito piritoso. Constata-se que os intervalos aquíferos relacionados à esta seqüência, em casos extremos, foram destruídos, como pode ser verificado nas proximidades de Siderópolis, em uma extensa área minerada a céu aberto pela drag-line conhecida como Marion.

Os intervalos aquíferos relacionados à Seqüência Inferior (Seqüência Bonito) e os relacionados à base da Formação Rio Bonito (Membro Triunfo), pelo fato de estarem capeados por uma

seqüência de rochas predominantemente argilosas, apresentam vulnerabilidade e risco de contaminação baixos a moderados.

No município de Criciúma, em uma área que é seccionada pela Falha Criciúma, constatou-se que tanto a seqüência superior quanto a média apresentam alto risco de contaminação para as fontes contaminantes de superfície, fato este comprovado através dos resultados das análises físico-químicas de água subterrânea e das águas superficiais, em estudos realizados na Mina Santa Augusta.

A área da referida mina situa-se na confluência dos rios Sangão e Criciúma, os quais atuam como condutores de efluentes industriais e esgotos domésticos. Nesta área ambos os rios têm caráter influente, isto é, alimentam as águas subterrâneas, fazendo com que exista mais uma fonte poluidora que não a do carvão, e contribuindo assim para piorar a qualidade das águas subterrâneas na região.

ASPECTOS HIDROQUÍMICOS

Com o objetivo de se dar uma melhor caracterização hidroquímica da área estudada, foram coletadas amostras de águas superficiais e subterrâneas em diferentes pontos da área. Foram consideradas, para efeito de comparação, laudos de análises físico-químicas de amostras coletadas no ano de 2000.

Foram coletadas e analisadas quatro amostras de água superficial e utilizado o resultado de um laudo de análise realizada em 2000.

Os resultados das análises físico-químicas das águas superficiais estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Análises das Águas Superficiais

<u>ANÁLISES</u>					
Parâmetros	R. Cric. Mont. 616/2001	R. Sang. Mont 617/2001	R. Sang. Jus. 619/2001	Eflu. Esg. Pluv 618/2001	Eflu. Esg. Pluv 672/2000
PH	3,9	2,8	2,9	3,4	3,3
Acidez Total ¹	175	1011	787	146	268
Condutivid. ²	0,638	2,060	1,776	0,727	NA
Cor(mgCoPt /L)	130	99	128	87	NA
Chumbo ¹	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	NA
Cobre ¹	< 0,01	0,14	0,10	0,02	NA
Ferro Total ¹	34,0	190,0	143,0	22,80	NA
Manganês ¹	1,27	2,90	2,38	0,78	NA
Zinco ¹	0,52	1,70	1,28	0,28	NA
Sulfatos ¹	331	1444	1027	265	352
Sólid. Sedim ³	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1
Sólidos Totais ¹	555	2195	1834	463	685
Turbidez (NTU)	17,2	18,4	32,2	19,2	NA

1 – mg/L; 2 – mS/cm; 3 – mL/L; NA - Não Analisado

Na Tabela 1 observa-se que os resultados do laudo 672/2000 estão incompletos, tendo sido medidos apenas cinco parâmetros. As demais amostras foram coletadas neste ano de 2001. Pela observação desta tabela verifica-se que todas as amostras apresentam o pH baixo, mostrando que as águas superficiais são ácidas, afetadas pelos processos de mineração existentes na área e adjacências.

Quanto à acidez total, observa-se as águas do Rio Sangão à montante e à jusante apresentam uma acidez elevada, certamente ligada aos processos de mineração do carvão. No Rio Criciúma, à montante, a acidez é mais baixa, devido ao fato do mesmo receber contribuições de esgoto

doméstico.

O teor de Ferro Total no Rio Sangão é quase seis vezes maior que no Rio Criciúma, o mesmo ocorrendo com os Sulfatos.

Observa-se que o Rio Criciúma, antes da confluência com o Rio Sangão, apresenta-se, comparativamente, em melhores condições que o Rio Sangão. O Rio Sangão carrega uma carga contaminante muito elevada, fazendo com que as águas superficiais na região, estejam completamente contaminadas.

Com o objetivo de melhor visualizar e avaliar as águas superficiais, plotou-se o diagrama de Schoeller-Berkalof (Figura 3 em anexo) que indica que as linhas traçadas para os elementos Cobre, Ferro Total, Manganês, Zinco e Sulfatos apresentam um comportamento muito semelhante. São linhas quase paralelas, mostrando que na realidade essas águas podem ser consideradas de uma mesma origem, variando apenas quanto à concentração dos parâmetros analisados.

A Tabela 2 mostra os resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas na área estudada. Foram utilizados os resultados de 8 análises físico-químicas, dos quais 5 são referentes a amostras coletadas no ano de 2000 e 3, de amostras coletadas em 2001.

Na região de Criciúma, em áreas já mineradas, o pH das águas subterrâneas é baixo, sendo inferior a 5,0. Apenas as amostras E-2 SE (Laudo 613/01) e o furo de Sonda (Laudo 614/01) apresentaram pH 5,4 e 6,2, respectivamente, mostrando que existe uma tendência de as águas melhorarem o pH na direção sudoeste, isto é, na direção do fluxo regional.

Dentro das áreas mineradas, observa-se que o pH tende a diminuir de sul para norte. Os poços situados mais próximos ao Rio Sangão apresentam o pH menor, caracterizando águas mais ácidas.

Quanto à acidez total, observa-se que o P2-NW (Laudo 615/01) apresenta o maior valor, devendo estar relacionado com as áreas mineradas a céu aberto situadas em cima deste ponto. As águas infiltram-se através dos rejeitos e adquirem uma maior acidez até atingirem a camada aquífera.

Tabela 2. – Análises das Águas Subterrâneas

ANÁLISES								
Parâmetros	E-2 SE 613/01	F.Sonda 614/01	P2-NW 615/01	Dren. Mina 640/00	P NW 649/00	E2-SE 650/00	E2-SE 651/00	P2-NW 673/00
pH	5,4	6,2	3,7	3,2	3,0	4,4	4,7	3,4
Acidez Total ¹	447	243	1487	958	1777	642	647	2209
Cloretos ¹	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Condutivid. ²	1,343	1,246	1,710	2,960	3,150	2,200	2,150	NA
Cor(mgCoPt/L)	180	756	192	NA	NA	NA	NA	NA
Alumínio ¹	0,2	0,7	123,0	8,4	57,2	2,80	1,90	NA
Chumbo ¹	NA	NA	NA	0,17	NA	NA	NA	NA
Cobre ¹	NA	NA	NA	< 0,01	0,05	< 0,01	< 0,01	NA
Cálcio ¹	448,5	750,0	299,0	NA	NA	NA	NA	NA
Ferro Solúvel ¹	199,0	117,5	388,5	NA	NA	NA	NA	NA
Ferro Total ¹	205,0	144,0	424,0	370,0	656,0	340,0	326,0	NA
Magnésio ¹	106,0	208,5	83,5	NA	NA	NA	NA	NA
Manganês ¹	11	14,8	6,40	14,0	9,60	13,4	14,4	NA
Potássio ¹	15	9,2	25,0	NA	NA	NA	NA	NA
Sódio ¹	82,4	93,8	26,5	NA	NA	NA	NA	NA
Zinco ¹	0,08	0,04	2,98	0,95	5,60	0,77	0,29	NA
Fluoretos ¹	0,8	0,9	0,8	NA	NA	NA	NA	NA
Fósforo Total ¹	< 0,1	< 0,1	< 0,1	NA	NA	NA	NA	NA
Nitrogênio Total ¹	1,4	0,7	0,3	NA	NA	NA	NA	NA
Sílica Solúvel ¹	41,7	18,5	37,4	NA	NA	NA	NA	NA
Sulfatos ¹	2107	2344	2576	2123	2813	2305	2104	3389
Sólid. Sedim ³	< 0,1	1	< 0,1	1,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sólidos Totais ¹	NA	NA	NA	3791	5358	3485	3666	5980
Turbidez (NTU)	41,2	375	29,4	NA	NA	NA	NA	NA

1 – mg/L; 2 – mS/cm; 3 – mL/L; NA - Não Analisado

No diagrama de Schoeller, traçado para as amostras de água subterrânea coletadas na região de Criciúma (Figura 4 apresentada em anexo), é possível verificar-se claramente que à medida que as águas subterrâneas percolam de NE para SW, o sentido do fluxo regional, os teores de alguns elementos vão diminuindo, como é o caso do Zinco, do Alumínio e do Ferro Total.

O Sulfato quase não reduz o seu teor ao longo deste percurso de NE para SW, havendo uma sensível redução. Observa-se que os pontos amostrados dentro da zona da Falha Criciúma, pontos 613/01, 650/00 e 651/00, apresentam os menores teores de Sulfato. Este fato deve estar relacionado à contribuição de água subterrânea proveniente da referida falha, já que a mesma é uma falha aberta e permite a circulação de água através dela.

Foi traçado o diagrama de Schoeller mesclando as análises de águas superficiais e subterrâneas da região de Criciúma (conforme Figura 5 em anexo). Neste diagrama é possível verificar-se que a menor acidez foi detectada na amostra 618/01, proveniente do efluente de esgoto doméstico e pluvial, seguida da amostra 616/01, proveniente do Rio Criciúma, que também recebe toda a carga de esgoto doméstico e pluvial do centro da cidade de Criciúma. Os maiores valores de acidez total correspondem às amostras 615/01 e 649/00, ambas coletadas em sub-superfície, abaixo de pilhas de rejeito de carvão e próximas ao Rio Sangão.

A interpretação final dos gráficos e dos Laudos de análises físico-químicas considerados no presente trabalho é a de que as águas superficiais e subterrâneas nos intervalos aquíferos relacionados ao Membro Siderópolis encontram-se bastante comprometidas, não só pelas atividades de mineração mas também pelos efluentes industriais e domésticos da cidade de Criciúma, os quais são lançados sem prévio tratamento nos corpos hídricos que drenam a região.

CONCLUSÃO

Devido à intensa atividade de exploração e beneficiamento de carvão no sul do estado de Santa Catarina, esta região apresenta graves problemas de contaminação dos seus recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos. Os aquíferos subterrâneos, ainda que não se encontrem tão seriamente comprometidos se comparados aos superficiais, já possuem um grau de contaminação bastante elevado devido, sobretudo, à má disposição das pilhas de rejeito piritoso que, através das falhas geológicas, camadas predominantemente arenosas e dos cursos d'água, atuam diretamente sobre os recursos hídricos subterrâneos, levando-os a um preocupante estado de degradação.

Atendendo a uma determinação da Justiça Federal, através de sentença referente a uma Ação Civil Pública, diversas medidas estão sendo tomadas ao nível de Gestão Ambiental, visando à

recuperação do passivo ambiental da região a fim de harmonizar a atividade carbonífera em andamento com a preservação do meio ambiente.

Estas medidas, apesar de abrangerem o meio ambiente de modo global, referem-se de modo especial aos recursos hídricos, cujo grau de contaminação atinge, em muitos casos, níveis alarmantes de comprometimento que resultam não apenas das atividades de mineração, embora sejam estas predominantes, mas de outras fontes de poluição.

Diversos órgãos institucionais, além das partes envolvidas, estão envidando todos os esforços possíveis no sentido de se viabilizar uma efetiva recuperação ambiental das áreas degradadas, orientando-se na direção da pesquisa científica e de outras ações que visem a incentivar a recuperação do meio ambiente degradado.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDRE, N.Z. & KREBS, A.S.J. 1995. **Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma, SC.** Porto Alegre: CPRM. 1 v. (Série Recursos Hídricos, v.6). (Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC).
- DIAS, A. de A. 1995. **Geologia do Município de Criciúma, SC.** Porto Alegre. CPRM. 1v.(Série Cartas Temáticas , v. 23). (Programa de Informações Básicas para gestão Territorial de Santa Catarina).
- FOSTER, S. & HIRATA, R. 1993. **Determinação do risco de contaminação de águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo : Instituto de Geológico. (Boletim n. 10)
- FOSTER, S., VENTURA, M. & HIRATA, R. 1987. **Contaminacion de las aguas subterranas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación com el suministro de agua potable.** Lima : OMS/OPS-HPE/CEPIS. 42 p.
- KREBS, A.S.J. 1997. **Estudo Geológico e Hidrogeológico da Área Correspondente à Bacia Carbonífera.** Criciúma. UNESC (Relatório Inédito).
- KREBS, A.S.J & NOSSE, E. 1998. **Potencial Hidrogeológico do Município de Criciúma, SC.** Porto Alegre: CPRM. 1v.; il.; mapa – (Série Cartas Temáticas, Porto Alegre, v.24).(Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa Catarina) – PROGESC).

Figura 5 - Diagrama de Schoeller-Berkalof
 Águas Subterrâneas x Águas Superficiais

