

ESTUDO DA CONEXÃO ENTRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS USANDO TRAÇADOR NA ÁREA DO CAMPO VILA FUNIL, SIDERÓPOLIS-SC

Marcos Imério LEÃO¹; Antônio Silvio Jornada KREBS²

¹Instituto de Pesquisas Hidráulicas(UFRGS), imerio@iph.ufrgs.br; ²SATC, asjkrebs@gmail.com

RESUMO

Este artigo trata do uso do traçador para comprovar a conectividade hidráulica entre as águas subterrâneas da Mina Siderópolis Subsolo com as águas superficiais da Lagoa Língua do Dragão mediante fluxo ao longo de uma falha geológica. O traçador utilizado foi a Rodamina B, um composto orgânico solúvel em água, que serve para determinação de vazão e direções de fluxo em aquíferos cársticos, podendo ser detectado por colorimetria ou por fluorescência. Para este estudo foi construído um poço tubular que atingiu a galeria da mina, realizado um ensaio de bombeamento neste poço para determinação da condutividade hidráulica no meio fraturado, e nele foi injetada a Rodamina B. Para a detecção da Rodamina B foram coletadas amostras de água na lagoa Língua do Dragão e amostragem de envelopes com carvão ativado, que foram analisados em um espectrofluorímetro. O método mostrou-se eficiente e conclusivo, permitindo comprovar a conectividade entre a mina subterrânea e as águas da lagoa, bem como, o fluxo da água subterrânea das galerias da mina através da falha geológica, atingindo outro poço tubular existente. Esta é uma metodologia que pode ser utilizada em minas subterrâneas abandonadas, bem como, em aquíferos fraturados, para estudos de fluxo e interação entre as águas subterrâneas e superficiais.

Palavras-chave: Mina subterrânea. Traçador. Rodamina B. Falha geológica.

ABSTRACT

This article deals with the use of the tracer to verify the hydraulic connectivity between the groundwater of the Siderópolis Subsoil Mine with the surface waters of the Lagoa Língua do Dragão through flow along a geological fault. The tracer used was Rhodamine B, a water-soluble organic compound, which is used to determine flow and flow directions in karst aquifers, and can be detected by colorimetry or by fluorescence. It was built a tubular well that reached the gallery of the mine, a pumping test was carried out in this well to determine the hydraulic conductivity in the fractured medium, and it was injected Rhodamine B. For the detection of Rhodamine B water samples were collected in the Língua do Dragão and sampling of envelopes with activated carbon, which were analyzed in a spectrofluorimeter. The method was efficient and conclusive, allowing to verify the connectivity between the underground mine and the lagoon waters, as well as, the underground water flow of the galleries of the mine through the geological fault, reaching another existing tubular well. This is a methodology that can be used in abandoned underground mines, as well as in fractured aquifers, for studies of flow and interaction between groundwater and surface waters.

Key-Words: Underground mine. Tracer. Rhodamine B. Geologic fault

1 INTRODUÇÃO

A bacia carbonífera de Santa Catarina está situada na Região Sudeste do Estado, tem um comprimento de 95 km e uma largura entre 15 e 20 km, abrangendo os municípios de Grão-Pará, Orleães, Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Criciúma, Içara, Nova Veneza, Maracajá, Araranguá e Forquilha (Leão et al, 2001).

Do ponto de vista geológico, esta bacia é integrante da sequência Gonduânica que constitui a borda leste da Bacia do Paraná. As 10 camadas de carvão estão relacionadas à Formação Rio Bonito. A região sul catarinense tem uma grande ocorrência de carvão mineral, descoberta em 1896 no município de Lauro Müller, tendo sua exploração sido realizada por diversas empresas mineradoras instaladas em quase toda a região.

Os tipos de lavra de carvão são basicamente dois: a céu aberto e subterrânea (por galerias), cujos impactos ambientais resultantes são; a contaminação de solos, poluição atmosférica e a poluição das águas superficiais e subterrâneas, decorrente do beneficiamento, assim como decorrente da lixiviação das extensas áreas de rejeito e drenagem de mina de subsolo, alterando significativamente a qualidade da água dos cursos hídricos da região e das águas subterrâneas.

O Campo Vila Funil, área objeto desse estudo, está situado no município de Siderópolis – SC, onde as atividades de mineração iniciaram em 1959 e encerraram no final da década 70, quando a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) vendeu alguns lotes para outras empresas mineradoras, que iniciaram a remineração dos rejeitos deixados, onde ainda havia cerca de 12% de carvão. Ainda hoje é grande o passivo ambiental que atinge vários municípios, proveniente das atividades de mineração, entre eles Siderópolis.

Um dos maiores problemas ambientais relacionados à mineração do carvão é a Drenagem Ácida de Mina (DAM), causada pela oxidação de minerais sulfetados.

A DAM inicia quando rochas contendo minerais sulfetados são retiradas do interior da terra pelas atividades de mineração e são dispostas na superfície do terreno, iniciando um processo de oxidação pela reação com água e oxigênio atmosférico. Normalmente, a DAM é causada pela oxidação da pirita (FeS_2), e por baixos valores de pH – podendo ser menores que 3,5, por altas concentrações de sulfato – até mais de 2000 mg/L e cátions metálicos com concentrações superiores às encontradas em ambientes naturais.

Em ambiente ácido, o Fe^{3+} é o principal oxidante da pirita, sendo reduzido para Fe^{2+} , que pode se tornar um ciclo contínuo acelerando reações e gerando grandes quantidades de acidez.

As águas encontradas em galerias abandonadas de minas de carvão, dependendo da profundidade das mesmas, pode apresentar pH 6,0. Isto se deve às condições anaeróbicas existentes neste ambiente. Quando estas águas entram em contato com a natureza, via condutos, tais como, antigos poços de ventilação, bocas de mina abandonadas ou através de falhamentos, ocorre a oxidação do Ferro e a consequente acidificação das mesmas, dando origem a DAM.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 GEOLOGIA DA ÁREA

A área estudada está inserida na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, onde afloram rochas sedimentares e vulcânicas que constituem a sequência da borda leste da Bacia do Paraná e sedimentos inconsolidados que constituem a Planície Costeira ou formam depósitos aluviais atuais. O embasamento cristalino regional (não aflorante) é composto de rochas granitoides tardi a pós-tectônicas (Krebs, 2004). Com relação à geologia local, nas porções topograficamente mais baixas, o substrato rochoso é constituído por arenitos e siltitos com intercalações de camadas de carvão, pertencentes à Formação Rio Bonito. Estas rochas são capeadas por uma espessa sequência de siltitos com algumas intercalações de arenitos finos, pertencentes à Formação Palermo. Na encosta média do morro testemunho conhecido como Montanhão, afloram folhelhos pirobetuminosos e siltitos carbonosos com intercalações de calcário impuro pertencentes à Formação Irati. Capeando este morro testemunho, ocorre uma espessa soleira de diabásio pertencente à Formação Serra Geral. Esta soleira está intrudida no intervalo estratigráfico correspondente ao terço superior da Formação Irati.

As principais feições estruturais presentes nesta porção são as falhas. Muitas destas falhas preenchidas por diques de diabásio que seccionam as rochas sedimentares gondwânicas. As principais direções de falhamentos são $\text{N}5^\circ\text{-}30^\circ\text{W}$ e $\text{N}45^\circ\text{-}60^\circ\text{E}$.

2.2 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

Na área do Campo Vila Funil, ocorrem dois sistemas aquíferos. Um mais superficial aqui denominado de aquífero freático e outro denominado aquífero profundo.

O aquífero freático está geneticamente relacionado aos solos residuais das rochas siltico-arenosas que ocorrem na porção superior da Formação Rio Bonito e na porção inferior da Formação Palermo. Na área estudada este aquífero está presente na porção central e noroeste, onde não foram desenvolvidas atividades de mineração a céu aberto.

A mineração a céu aberto interconectou estes dois aquíferos.

3. CONHECIMENTO DO PROBLEMA

Um dos grandes impactos ambientais da lavra de carvão a céu aberto é a interconexão gerada entre o aquífero livre mais superficial e os aquíferos mais profundos, geralmente confinados. Este é um impacto irreversível.

A área de estudo, chamado de Campo Vila Funil, está situada no município de Siderópolis-SC (Figura 1), localizado a 10 km do município de Criciúma-SC.

Figura 1 – Detalhe da área de estudo com a mina subsolo e seções geológicas



Mais de 70% do total da área encontra-se recoberta com estéril de cobertura das camadas de carvão e rejeito oriundo do beneficiamento (Leão, 2001). Sabe-se que na porção correspondente ao Campo Vila Funil, onde estão sendo desenvolvidos vários projetos de recuperação ambiental, pelas empresas que atuam nesta área, a identificação e caracterização das unidades geológicas, falhas, fraturas, diques e blocos basculados, bem como o conhecimento dos aspectos hidrogeológicos, principalmente no que se refere à definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, constitui uma ferramenta fundamental para a definição de medidas mitigadoras bem como para a elaboração de projetos executivos que visem à recuperação ambiental da referida área.

Esta área foi minerada a céu aberto e por mina de subsolo. A mina de subsolo está situada a 58 metros de profundidade e completamente inundada.

O balanço hídrico realizado na área do Campo Vila Funil (Leão et al, 2001), mostrou uma diferença na quantidade de água que entrava no sistema e a que saía. A quantidade de água que saía chegou a ser 20% maior que a que entrava, como foi o caso no ano de 2001, quando entrou 1939 mm e saiu 2305 mm. Era importante determinar a origem deste volume que chegou a representar 230 m³/h.

Durante estudos realizados na área, foi perfurado um poço tubular com a finalidade de atingir as galerias da mina de subsolo, com o objetivo de monitoramento. Em uma amostra de água retirada do poço, durante a perfuração, foi possível constatar que a mesma era límpida e tinha pH neutro, mas após alguns minutos ocorreu uma mudança de coloração tornando-se amarelada, indicando uma oxidação do ferro. Este fato permitiu admitir a existência de uma possível interconexão entre a mina de subsolo e a lagoa Língua do Dragão. Esta era a hipótese mais viável para explicar a diferença de volume de água no balanço hídrico e a coloração amarelada da Língua do Dragão. A Figura 2 mostra a localização da falha geológica que corta a área da Mina Siderópolis Subsolo.

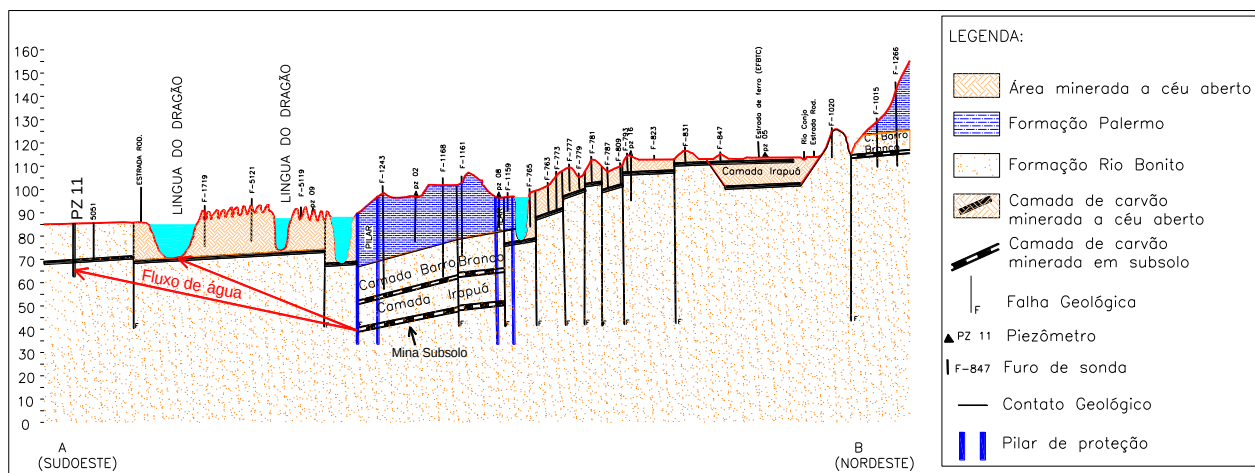
Figura 2 – Localização da falha geológica



Fonte: Modificado de Leão et al, 2001

A Figura 3, seção NW-SE (A-B), mostra como a mina de subsolo está ligada a Lagoa Língua do Dragão e ao poço IPH-SD-11(PZ-11), através de um falhamento geológico existente na área, como mostrado na Figura 2.

Figura 3 - Seção geológica AB



Fonte: Modificado de Leão et al,2001

Havia a necessidade de comprovar esta hipótese. Para tal, buscou-se um traçador que pudesse ser utilizado e atendesse ao objetivo proposto.

3 ESCOLHA DO TRAÇADOR

Foi realizada uma pesquisa para encontrar um traçador que atendesse o objetivo proposto e que fosse compatível com a situação existente.

A situação era a seguinte, havia uma quantidade de água muito grande, tanto preenchendo as galerias da mina quanto na Língua do Dragão. Optou-se pela Rodamina B.

Foram pesquisados alguns trabalhos sobre esta técnica, entre eles, Aldous et al (1988), que usaram a Sulpho Rhodamine B em mina de carvão subterrânea abandonada, que se mostrou como uma poderosa ferramenta para a determinação do regime de fluxo de água subterrânea. Este tipo de traçador tem um comportamento muito bom em aquíferos cársticos.

Genthner et al (2003), usaram o traçador Rodamina FWT, que é uma versão da Rodamina WT. O objetivo foi determinar a estrutura da drenagem subterrânea e delimitar áreas de recarga de fontes cársticas de um planalto calcário situado na região sudeste do estado de São Paulo.

Mullet al (1988) escreveram um manual sobre técnicas de determinação de traçadores corantes em terrenos cársticos.

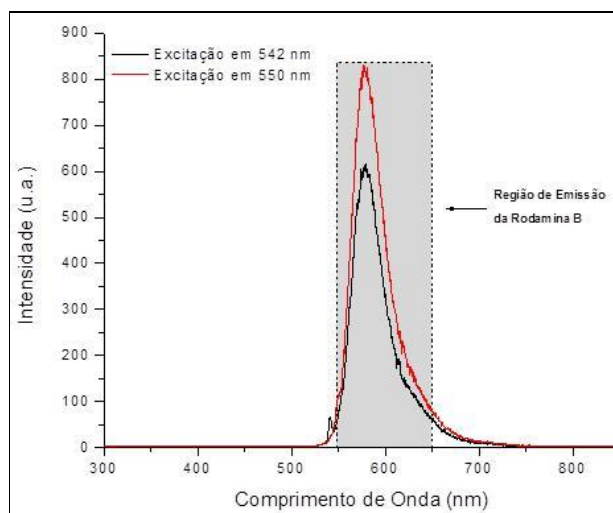
A Rodamina é um nome genérico para uma família de compostos orgânicos, corantes chamados fluoronas. Entre elas tem-se a Rodamina 6G, Rodamina G, Rodamina FWT, Rodamina WT e Rodamina B. Elas são oferecidas como corantes traçantes para determinação de vazão e direção de fluxos d'água. São fluorescentes, podendo ser medidos com fluorímetro. São utilizadas em aplicações biotecnológicas, tais como, microscopia de fluorescência e citometria de fluxo. São solúveis em água, metanol e etanol. Ela pode ser detectada por colorimetria ou por fluorescência. No presente estudo, optou-se pela Rodamina B, devido a grande quantidade de água envolvida, tanto na mina Siderópolis Subsolo quanto na Lagoa Língua do Dragão, sendo difícil a detecção por colorimetria, além de a mesma apresentar uma baixa toxicidade.

A Rodamina B, também chamada de Rosa Rodamina B, de Vermelho Dynabasic 540, de fórmula $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$, é utilizada como corante fluorescente. Também é usada como corante básico no tingimento de papel, madeira e derivados de celulose.

A Rodamina B é solúvel em água, apresenta uma banda principal de emissão de fluorescência entre 550 e 650 nm (nanômetro = 10^{-9} metros), região esta que compreende mais de 90% da área da curva de emissão do referido corante, com um máximo localizado em 578 nm, quando excitado nos comprimentos de onda de 542 e 550 nm, conforme mostra a Figura 4.

Fonte: Geológica,2008

Figura 4 – Perfil de emissão da Rodamina B

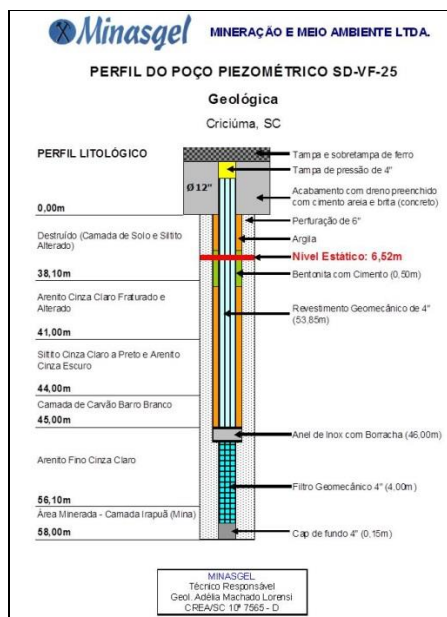


Fonte: Geológica, 2008

4 POÇO DE INJEÇÃO

Tendo em vista a localização das falhas se resolveu locar e perfurar um novo poço, na área da “fazendinha”, sobre a mina Subsolo Siderópolis. Este poço foi locado próximo à falha e atingiu a galeria da mina, que explorou a camada de carvão Irapuá a 56,10 m de profundidade, conforme mostra o perfil construtivo da figura 5. A camada Barro Branco foi encontrada dos 44,0 m a 45,0 m e, não foi minerada neste local, provavelmente, devido às falhas existentes.

Figura 5 – Perfil construtivo do poço SD-VF-25



Depois de construído o poço, foi realizado um ensaio de bombeamento com a finalidade de determinar as características hidrodinâmicas do meio. Como mostra o perfil construtivo, o poço está monitorando as galerias da mina, as camadas superiores estão isoladas. As galerias da mina se comportam como um aquífero cárstico e confinado, tendo em vista que nível estático está a 6,52 m de profundidade.

A interpretação do ensaio foi feita pelo método de Theis para aquífero confinado, utilizando-se o *software Aquifer Test* e, as características determinadas foram, Coeficiente de Armazenamento (S) $6,20 \times 10^{-5}$ indica que o aquífero é confinado e a Condutividade Hidráulica (K) $7,75 \times 10^{-2}$ m/min (111,6 m/dia), mostra a velocidade com que a água se desloca dentro das galerias e/ou falhas conectadas a mina.

5 PREPARAÇÃO DO TESTE

O objetivo do ensaio com traçador, no caso a Rodamina B, foi o de comprovar que a Mina Siderópolis Subsolo contribui com água para a lagoa Língua do Dragão, através da falha geológica que corta a área.

O passo seguinte foi a questão da amostragem, qual a metodologia a ser adotada, já que a determinação por colorimetria estava descartada devido a dissolução da Rodamina B no grande volume de água onde a mesma seria injetada e onde seria descarregada.

Com o objetivo de garantir a detecção da passagem da Rodamina B pela Língua do Dragão, foram montados uma série de envelopes de tela de nylon contendo carvão ativado na granulometria 2 mm de diâmetro, como mostra a Figura 6. Essa metodologia foi baseada no trabalho de Genthner et al (2003).

Figura 6 – Envelopes de tela de nylon e carvão ativado



Fonte: Geológica, 2008

A colocação do envelope em poço foi adotada por que havia a desconfiança que a água do poço IPH-SD-11, devido a sua característica físico-química determinada em estudos anteriores, também viesse da Mina Siderópolis Subsolo.

Foi escolhido o Laboratório do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IQ-UFRGS) para executar as análises para determinação da Rodamina B.

6 O TESTE

Antes de iniciar a injeção de Rodamina B no poço SD-VF-25, foram colocados envelopes com carvão ativado e também coletadas amostras de água na Lagoa Língua do Dragão e nos poços IPH-SD-11 e SD-VF-25 com a finalidade de determinar o “background” dos mesmos.

Os procedimentos para injeção da Rodamina B iniciaram com a preparação da solução. A melhor maneira de diluir a Rodamina B é com água quente ou com água ácida, neste caso, optou-se por diluir em água ácida da lagoa 1, situada na área. Foi diluído 4 kg de Rodamina B em 60 litros, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Bombona com solução de Rodamina B



Fonte: Geológica, 2008

A injeção de Rodamina B foi realizada diretamente na galeria, a 56 metros de profundidade. A injeção foi feita por gravidade procedimento este que durou cerca de 40 minutos.

7 MONITORAMENTO

Tendo em vista que a velocidade de percolação da água nas galerias da mina é de 111,6 m/dia e a distância da Mina Subsolo até o ponto de monitoramento na Língua do Dragão é de 550 m, estimou-se o tempo de chegada da Rodamina B em 5 dias.

As atividades de monitoramento, por medida de precaução, iniciaram 3 dias após a injeção da Rodamina B, através da coleta de amostras de água em frascos de 50 mL e amostras dos envelopes com carvão ativado.

Figura 8 – Localização dos pontos de amostragem e injeção



Fonte: (Geológica, 2008)

A finalidade dos envelopes foi a de ter um monitoramento contínuo. Cada envelope recebeu um lacre numerado. Os envelopes permaneceram monitorando durante tempos que variaram entre 7 e 24 horas.

Cada envelope foi amarrado em uma estrutura metálica com uma grade e, colocado na parte mais estreita da saída da Língua do Dragão, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 – Colocação de envelopes na Lagoa Língua do Dragão



Foram coletadas 8 amostras de água no poço IPH-SD-11, sendo uma do “background” e 7 após a injeção da Rodamina B. Na Língua do Dragão foram

coletadas 14 amostras de água, sendo uma do “background” e 13 após a injeção do traçador.

Após a retirada, cada envelope recebeu a identificação do local; nº da amostra; nº do lacre; data e hora de instalação; data e hora da retirada e, foram lacrados e encaminhados para o laboratório do IQ-UFRGS.

As Tabelas 1 e 2 mostram a lista das amostras coletadas nos envelopes com carvão ativado e de água, com as datas e horários de colocação e retirada, respectivamente.

Tabela 1 – Lista de amostras sólidas de envelopes com carvão ativado

Campo Vila Funil - Envelopes c/ Carvão Ativado - IPH-SD-11 e Língua do Dragão							
Nº	Identificação	Data		Hora		Lacre Nº	Observação
		Colocação	Retirada	Colocação	Retirada		
1	LÍNGUA DO DRAGÃO	9/9/2008	12/9/2008			5487396	Background
2	LÍNGUA DO DRAGÃO	14/9/2008	15/9/2008	17:00	10:00	6009407	
3	LÍNGUA DO DRAGÃO	15/9/2008	16/9/2008	10:00	10:45	0003144	
4	LÍNGUA DO DRAGÃO	16/9/2008	16/9/2008	10:45	18:00	0004913	
5	LÍNGUA DO DRAGÃO	16/9/2008	17/9/2008	18:00	11:00	0003290	
6	LÍNGUA DO DRAGÃO	17/9/2008	17/9/2008	11:00	18:00	0003280	
7	LÍNGUA DO DRAGÃO	17/9/2008	18/9/2008	18:00	10:30	0003491	
8	LÍNGUA DO DRAGÃO	18/9/2008	18/9/2008	10:30	18:00	0003503	
1	VF-SD-25	9/9/2008	10/9/2008	14:00	15:00	2484063	Background
1	IPH-SD-11	9/9/2008	10/9/2008	10:30	14:00	1612952	Background
2	IPH-SD-11	14/9/2008	16/9/2008	14:00	11:30	0003078	
3	IPH-SD-11	16/9/2008	17/9/2008	11:30	11:30	0004034	

Fonte:Geológica, 2008

Tabela 2 – Lista de amostras de água

Campo Vila Funil				
Nº	Identificação	Data	Hora	Observação
1	VF-SD-25	9/9/2008	13:00	Background
1	IPH-SD-11	9/9/2008	10:30	Background
2	IPH-SD-11	14/9/2008	16:00	
3	IPH-SD-11	16/9/2008	11:30	
4	IPH-SD-11	17/9/2008	11:30	
1	Língua do Dragão	12/9/2008	16:00	Background
2	Língua do Dragão	15/9/2008	10:00	
3	Língua do Dragão	16/9/2008	10:45	
4	Língua do Dragão	16/9/2008	14:30	
5	Língua do Dragão	16/9/2008	18:00	
6	Língua do Dragão	16/9/2008	22:00	
7	Língua do Dragão	17/9/2008	2:00	
8	Língua do Dragão	17/9/2008	6:00	

9	Língua do Dragão	17/9/2008	11:00	
10	Língua do Dragão	17/9/2008	14:00	
11	Língua do Dragão	17/9/2008	18:00	
12	Língua do Dragão	17/9/2008	22:00	
13	Língua do Dragão	18/9/2008	2:00	
14	Língua do Dragão	18/9/2008	6:00	
1	Lagoa 1	17/9/2008	11:10	
1	Lagoa 2	17/9/2008	14:10	

Fonte: Geológica, 2008

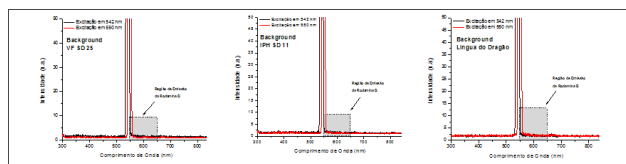
A amostragem de água no poço IPH-SD-11 foi feita com a utilização de um amostrador do tipo “bailer”.

As amostras de água e dos envelopes com carvão ativado foram enviadas para o IQ-UFRGS e analisadas através de um espectrofluorímetro.

8 RESULTADOS E CONCLUSÕES

As primeiras análises realizadas foram para determinação do background na lagoa Língua do Dragão e nos poços SD-VF-25 e IPH-SD-11. Os resultados estão apresentados nos gráficos constantes da Figura 9.

Figura 9 – Gráficos de background dos pontos de monitoramento



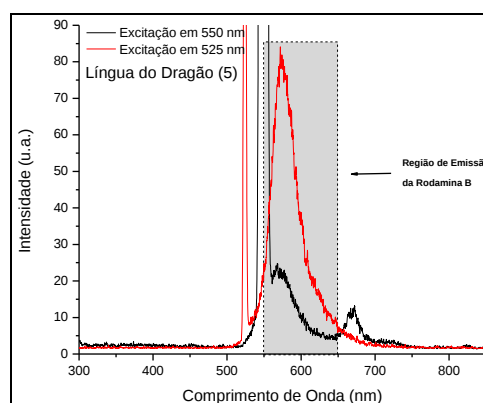
Fonte: Geológica, 2008

No caso da Lagoa Língua do Dragão foram analisadas 13 amostras de água e 7 amostras de envelopes com carvão ativado, coletadas no ponto indicado na Figura 8.

As amostras de carvão ativado foram extraídas com etanol e ácido acético e foram analisadas em função da presença ou não de sinal na região entre 550 – 650 nm referentes à emissão da Rodamina B.

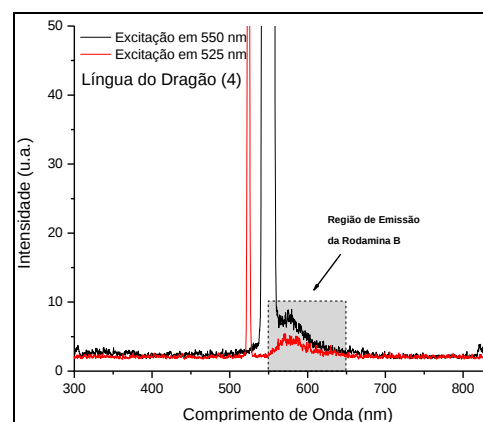
As Figuras 10 e 11 mostram os gráficos das amostras de carvão ativado onde foi detectada a Rodamina B, utilizando a extração com etanol e a extração com ácido acético, respectivamente.

Figura 10 – Perfil de emissão (extração com etanol)



Fonte: Geológica, 2008

Figura 11 – Perfil de emissão (extração com ácido acético)



Fonte: Geológica, 2008

No caso do poço IPH-SD-11, não foi detectada a Rodamina B nas 2 amostras analisadas. As causas podem ser várias, entre elas, a baixa velocidade de passagem da água através do poço não permitindo uma adsorção no carvão ativado.

Como estas amostras sólidas são mais complexas que as amostras líquidas, devido à capacidade do carvão ativado de adsorver diversos tipos de compostos, além do corante Rodamina B, adicionaram-se uma alíquota de solução padrão de Rodamina B em água para comprovar que o perfil observado era proveniente da Rodamina B.

9 CONCLUSÃO

O Campo Vila Funil é uma área onde ocorreram atividades de mineração de carvão a céu aberto e por galeria. A mineração de carvão a céu aberto foi responsável pela interconexão entre os aquíferos livres e confinados, causando um impacto ambiental irreversível.

Além disso, no Campo Vila Funil, ocorrem uma série de falhamentos geológicos cortando a área, sendo que um deles serviu de caminho para interconectar as águas da mina Subsolo Siderópolis com a Lagoa Língua do Dragão, passando pelo poço IPH-SD-11 e, quem sabe alimentar o rio Fiorita.

O comportamento das galerias da mina e da falha geológica é de um aquífero cárstico, o que permitiu o uso de maneira eficiente e conclusiva da Rodamina B como traçador.

10 REFERÊNCIAS

ALDOUS. P. J. E SMART P. L. Tracing ground-water movement in abandoned coal mined aquifers using fluorescent dyes. Ground Water, v. 26, n. 2, mar./abr. 1988.

GENTHNER, C.; FERRARI, J. A.; KARMANN, I. Identificação das áreas de recarga de fontes carsticas com o uso do traçador Rodamina FWT (Área Carbonática Lajeado-Bombas, Iporanga-SP). Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 24, n. 1/2, p. 11-23, 2003.

GEOLÓGICA. Projeto conceitual de recuperação de área degradada do campo Vila Funil – Siderópolis – SC. Geológica Engenharia e Meio Ambiente Ltda, – SIECESC. Relatório Técnico, 2008

KREBS, A, S, J. Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia do rio Araranguá, SC. Departamento de Geociências. UFSC. Florianópolis. 2 v. 376 p. 2004. (Tese de Doutorado).

LEÃO, M. I., KREBS, A. S. J., CAICEDO, N. O. L., ZANCAN, L. C., Avaliação da contaminação na área da Vila Funil por atividades de mineração de carvão. Siderópolis, SC. IPH-UFRGS. Relatório Técnico, 2001.

MULL. D. S., LIEBERMANN. T. D., SMOOT. J. L., WOOSLEY. J. H. Application of dye-tracing techniques for determining solute-transport characteristics of ground water in karst terranes U. S. Environmental Protection Agency Ground-Water

Protection Branch Region IV, Atlanta , Georgia, U. S. Geological Survey Water Resources Division, Kentucky District Louisville, Kentucky. EPA904/6-88-001. October 1988. Digital Version.