



USO DE TRAÇADOR PARA ESTUDO DE INTERAÇÃO ENTRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS NA REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA, BRASIL

USE OF TRACER TO STUDY THE INTERACTION BETWEEN GROUNDWATER AND SURFACE WATER IN THE COAL REGION OF SANTA CATARINA, BRAZIL

Marcos Imério Leão¹ ; Antônio Silvio Jornada Krebs²

Artigo recebido em: 13/02/2017 e Aceito para publicação em: 04/04/2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i2.28816>

Resumo: Este artigo trata do uso de traçador como ferramenta para comprovar a conectividade hidráulica entre as águas subterrâneas provenientes de uma mina de carvão subterrânea abandonada com as águas superficiais de uma lagoa 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 fraturados, podendo ser detectado por colorimetria ou por fluorescência. Para este estudo foi construído um poço tubular que atingiu a galeria da mina abandonada, realizado um ensaio de bombeamento neste poço para determinação da condutividade hidráulica no meio fraturado, e nele foi injetada a Rodamina B. A Condutividade hidráulica mostrou que o traçador levaria 5 dias para atingir o ponto de monitoramento na Lagoa Língua do Dragão. Por medida de segurança o monitoramento iniciou no 4º dia após a injeção da Rodamina B. O método mostrou-se muito eficiente e conclusivo. Foi possível 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 tracer as a tool to demonstrate the interconnection between groundwater from an underground coal mine abandoned with surface water of a pond and along a geological fault. The tracer used was Rhodamine B, a soluble organic compound in water, which serves for the determination of flow and flow directions in karst aquifers and may be detected colorimetrically or by fluorescence. It was built a tubular shaft that reached the gallery of abandoned mine and it was injected Rhodamine B. It conducted a pumping test in the well to determine the hydraulic conductivity in the fractured rock. The hydraulic conductivity showed that the tracer would take 5 days to reach the monitoring point in Lingua do Dragão Lagoon. For safety measures, the monitoring started on the 4th day after the injection of Rhodamine B. The method proved to be very efficient and conclusive. It was possible to establish the interconnection between the groundwater of the underground mine and the lagoon waters, as well as the flow of groundwater from the mine galleries by fault, reaching another existing tube well. This is a methodology that can be used in abandoned underground mines, as well as in fractured aquifers, for flow studies and interrelationship between groundwater and surface water.

Keywords: Underground mine. Tracer. Rodamine B. Geologic fault.

1 INTRODUÇÃO

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,

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (UFRGS), Porto Alegre, RS. E-mail: (imerio@iph.ufrgs.br)

² KN Geologia, Engenharia e Meio Ambiente Ltda. Criciúma, SC. Email: (asjkrebs@gmail.com)

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.

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 conseqüente acidificação das mesmas, dando origem a Drenagem Ácida de Mina (DAM).

Um dos maiores problemas ambientais relacionados à mineração do carvão é a drenagem ácida de mina 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.

O Campo Vila Funil, área objeto desse estudo, está situado no município de Siderópolis – SC (Figura 1). Esta área foi

minerada a céu aberto e por mina de subsolo. 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, que continham ainda cerca de 12% de carvão. Ainda hoje é grande o passivo ambiental que atinge vários municípios, proveniente das atividades de mineração, entre eles Siderópolis.

Mais de 70% do total da área encontrase recoberta com estéril de cobertura das camadas de carvão e rejeito oriundo do beneficiamento (AUTOR et al, 2001). Sabe-se que na porção correspondente ao Campo Vila Funil, onde estão sendo desenvolvidos vários projetos de recuperação ambiental, pelas empresas que atuaram 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.

Em 2001 foi realizado um estudo (LEÃO et al., 2001), na área em que através do monitoramento e medições de campo foi realizado um balanço hídrico, que mostrou a existência de um excedente de água no exutório do sistema. Este fato gerou a desconfiança de que o excedente de água era proveniente da mina de subsolo, não restando alternativa senão a de comprovar a conexão. O objetivo deste trabalho foi o de comprovar que as águas da mina de subsolo estavam alimentando a lagoa Língua do Dragão através de uma falha geológica existente na área.



Figura 1 – Localização da área de estudo
Figure 1 - Localization of the study area
Fonte: (LEÃO, M.I)

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Geologia

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.

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 que formam depósitos aluviais atuais. Com relação à geologia local, a Figura 2 mostra o Mapa Geológico da região (LEÃO et al., 2001). 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. As principais feições estruturais presentes nesta porção são as falhas. Muitas destas falhas preenchidas por diques de diabásio que seccionam as rochas sedimentares gondwânicas. Ocorrem também soleiras de diabásio, relacionadas a falhas regionais que sustentam a topografia em vários locais da bacia carbonífera (Krebs, 2004).

A interpretação de fotografias aéreas e leitura de mapas de avanço de lavra em subsolo demonstrou que as principais direções de falhamentos são N5°-30°W e N45°-60°E.

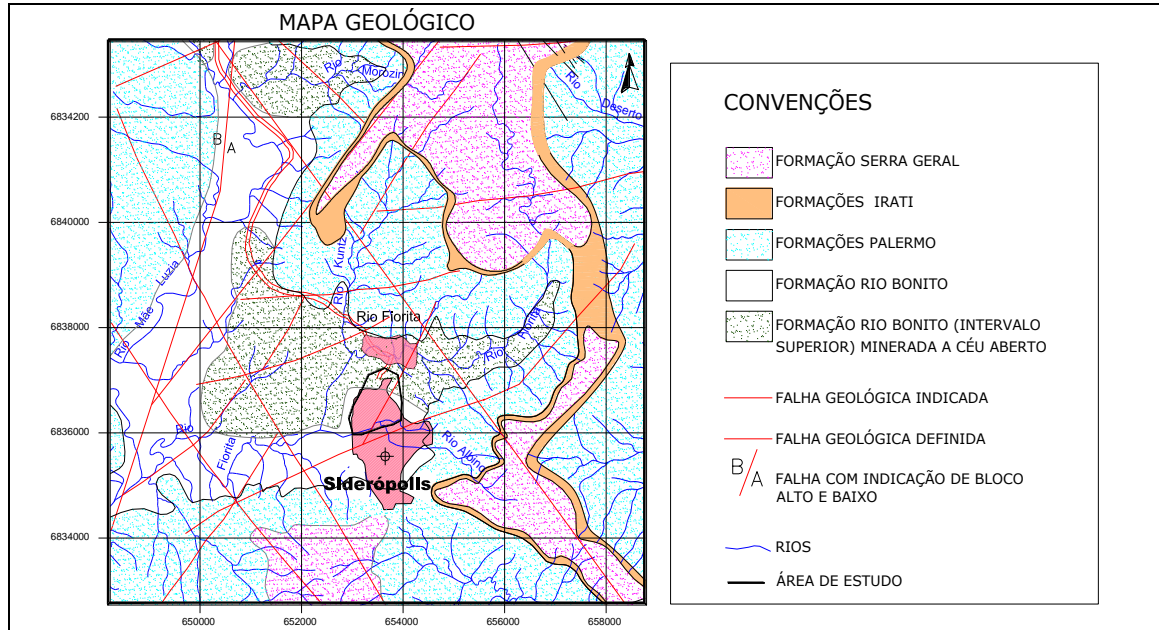


Figura 2 – Mapa Geológico da região

Figure 2 – Geologic Map of the region

Fonte: Leão et al. (2001)

No caso da falha que passa pela Língua do Dragão (Figura 3), pertencente ao sistema N45°-60°E, a análise das fotografias aéreas

1:25.000, mostra que ela se une com outra localizada logo a norte da Lagoa I.



Figura 3 – Detalhe de parte da área com falhamento geológico

Figure 3 - Detail of part of the area with geological faulting

Fonte: Modificado de Leão et al. (2001)

2.2 Hidrogeologia

Na área do Campo Vila Funil, (AUTOR, 2001), 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.

As sondagens realizadas para a construção dos piezômetros na área permitiram verificar que o manto de alteração, que constitui este aquífero, possui espessura que varia de 2 até mais de 10 m. Trata-se de um aquífero com porosidade intergranular, com baixa potencialidade e pouca extensão areal. A Figura 4 mostra o detalhe da área de estudo com o limite da mina de subsolo, além de indicar as duas seções geológicas, W-E e NW-SE, que foram construídas.

O sentido de fluxo das águas desse aquífero é controlado pela topografia e a recarga se processa de maneira direta, a partir das precipitações pluviométricas e da infiltração de água nos solos residuais. Tendo em vista que o sentido de fluxo é controlado pela topografia, as áreas de recarga desse aquífero estão situadas em todas as porções topograficamente elevadas do setor central e noroeste do Campo Vila Funil.

O aquífero profundo está relacionado às rochas areníticas da Formação Rio Bonito, que ocorrem estratigraficamente acima da camada de carvão Barro Branco. O aquífero possui espessura variável, oscilando entre 3 e 15 m. Trata-se de um aquífero com porosidade intergranular, extenso, confinado. Localmente estas rochas areníticas estão bastante fraturadas e ou silicificadas, comportando-se como aquífero fraturado. Na área de afloramento desta formação, a recarga ocorre por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e

transportados. Nas proximidades do Montanhão, onde as declividades do terreno são altas e as velocidades da circulação são elevadas, a recarga realiza-se por drenança das águas do aquífero fraturado, relacionadas às rochas basálticas, e drenança das demais formações geológicas que ocorrem estratigraficamente acima da Formação Rio Bonito. Abaixo do intervalo estratigráfico correspondente à camada de carvão Barro Branco ocorrem outras camadas arenosas que também atuam como aquíferos.

Estes intervalos aquíferos não estão sendo considerados neste estudo, por se situarem em cotas topográficas inferiores a lapa da camada de carvão Barro Branco, à exceção da porção onde ocorreu lavra a céu aberto da camada de carvão Irapuá (posicionada estratigraficamente 15 m abaixo da camada Barro Branco).

Uma significativa porção da área do Campo Vila Funil, principalmente nos setores leste, sul e oeste, sofreu atividades de mineração de carvão a céu aberto. Isso fez com que os intervalos aquíferos (freático e profundo) fossem totalmente descaracterizados, ocorrendo conexão vertical entre ambos. Assim, em toda a porção minerada a céu aberto, os aquíferos freático e profundo constituem um único sistema aquífero. Este aquífero se comporta como um aquífero livre nas porções correspondentes às lagoas 1, 3 e Língua do Dragão (Figura 3) e como aquífero semiconfinado nas áreas com estéril de cobertura ou por rejeito.

O Balanço hídrico realizado na área do Campo Vila Funil mostrou uma diferença entre a quantidade de água que entra no sistema e a que sai. A quantidade de água que saí chegou a ser quase 20% maior do que a que entra, como foi o caso do ano de 2001, quando entrou 1939 mm e saiu 2305 mm. O balanço hídrico foi realizado a partir do monitoramento e medições realizadas na área (AUTOR, 2001). Era importante determinar a origem desse volume, que representava aproximadamente 230 m³/h.

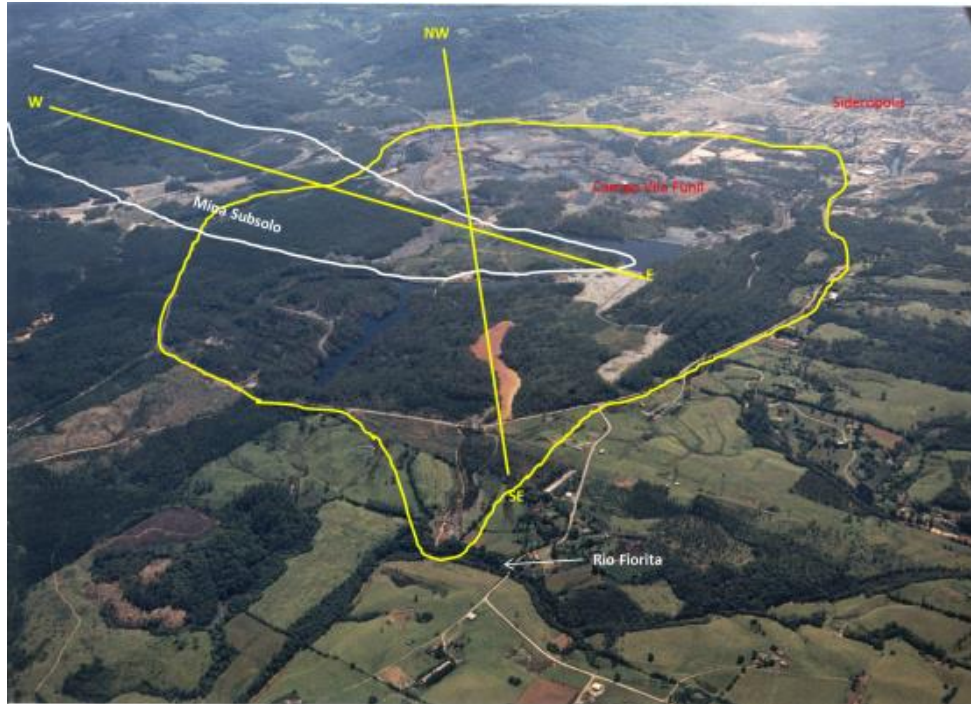


Figura 4 – Detalhe da área de estudo com limite da mina subterrânea
Figure 4 - Detail of the study area with boundary of the underground mine
Fonte: (LEÃO)

2.3 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.

Esta área foi minerada a céu aberto e por mina de subsolo, como mostra a Figura 4. A mina de subsolo está situada a 58 metros de profundidade e completamente inundada. A Figura 5 mostra a seção geológica W-E (F-E), construída ao longo do eixo da mina de subsolo, como indicado na Figura 4.

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. A Figura 6, seção SW-NE (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 mostra a Figura 3.

Saliente-se que esta área está completamente degradada, tanto do ponto de vista topográfico quanto do ponto de vista da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. As águas superficiais e subterrâneas apresentam pH variando entre 2,5 e 5,0.

Havia a necessidade de comprovar esta interconexão hidráulica, trabalho este realizado em 2008, através do PRAD - Projeto Conceitual de Recuperação de Área Degradada do Campo Vila Funil, Siderópolis (Geológica,2008). Para tal buscou-se encontrar algum tipo de traçador que pudesse ser utilizado e atendesse ao objetivo proposto.

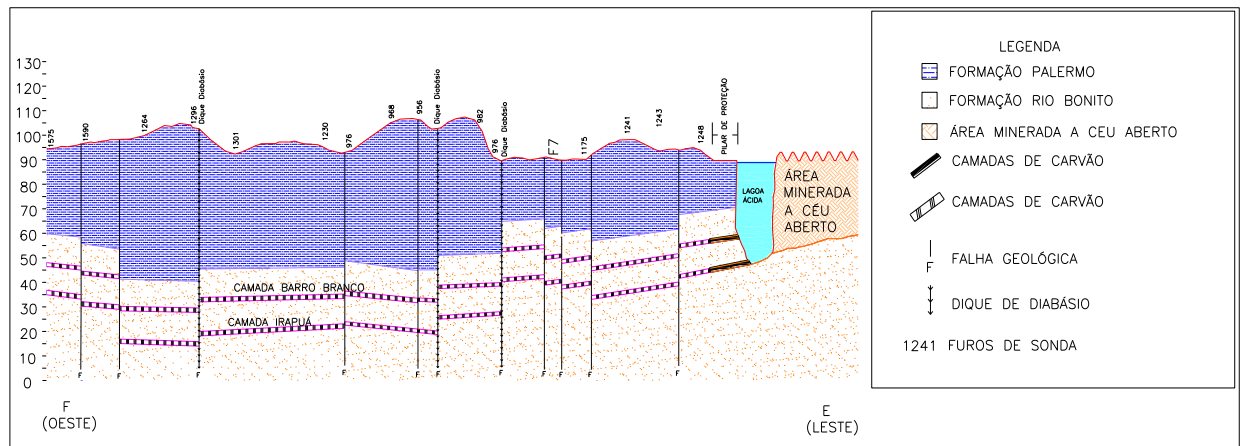


Figura 5 – Seção geológica W-E (F-E)
Figure 5 - Geological section W-E (F-E)
Fonte: Autor (2001)

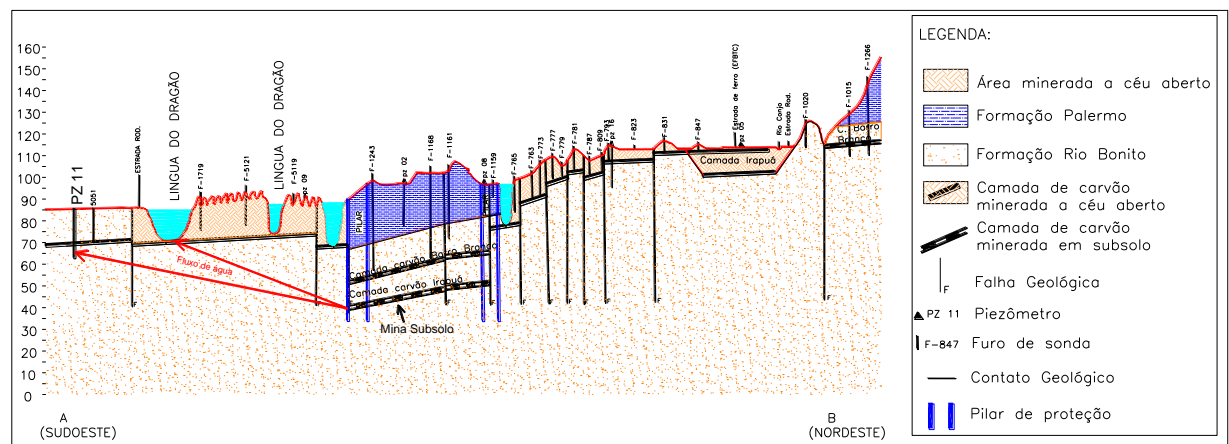


Figura 6 – Seção geológica SW-NE (A-B)
Figure 6 - Geological section SW-NE (A-B)
Fonte: Leão et al. (2001)

2.4 Escolha do Traçador

A busca por um traçador para comprovar a interconexão entre a mina subterrânea e a Lagoa Língua do Dragão fez com que fosse realizada uma pesquisa que atendesse ao objetivo do estudo. 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 carsticos.

Genthner et al. (2003), usaram o traça-

dor 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.

Mull et al (1988) escreveram um manual sobre técnicas de determinação de traçadores corantes em terrenos carsticos.

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 ao fato de a mesma apresentar uma baixa toxicidade e devido a grande quantidade de água envolvida, tanto na mina subterrânea quanto na Lagoa Língua do Dragão, sendo difícil a detecção por colorimetria. 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 7.

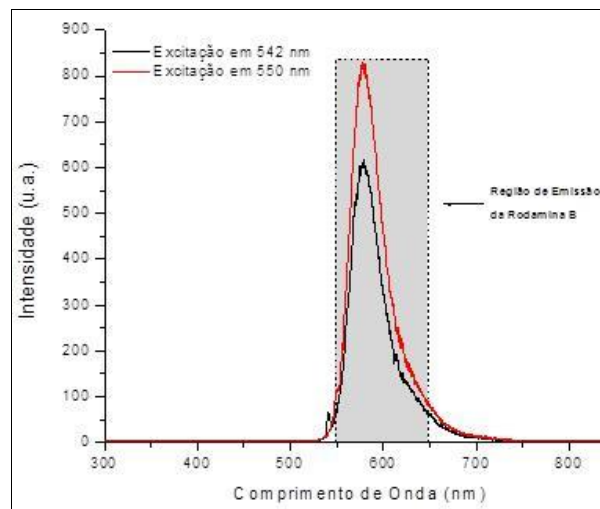


Figura 7 – Perfil de emissão da Rodamina B

Figure 7 - Emission profile of Rhodamine B

Fonte: Geologica (2008)

3 METODOLOGIA

Escolhido o traçador a ser utilizado, a Rodamina B, foi perfurado o poço para injeção da mesma (SD-VF-25), conforme a Figura 8. O poço foi perfurado de maneira que estivesse situado ao lado da falha geológica (Figura 3), de maneira que o fluxo de água na mina passasse pelo mesmo até atingir a falha geológica, que serviria de conduto para o traçador até a Lagoa Língua do Dragão. Restava saber o tempo que levaria o traçador, depois de injetado no poço, para chegar ao ponto de monitoramento na lagoa Língua do Dragão.

Foi realizado um ensaio de bombeamento no poço SD-VF-25, com a finalidade de determinar as características hidrodinâmicas do meio, Transmissividade (T), Coeficiente de Armazenamento (S) e a Condutividade Hidráulica (K). A interpretação do ensaio foi feita pelo método de Theis utilizando-se o software Aquifer Test.

O 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 (4,65 m/h), mostra a velocidade com que a água se desloca dentro das galerias e ou falhas conectadas à mina subterrânea.

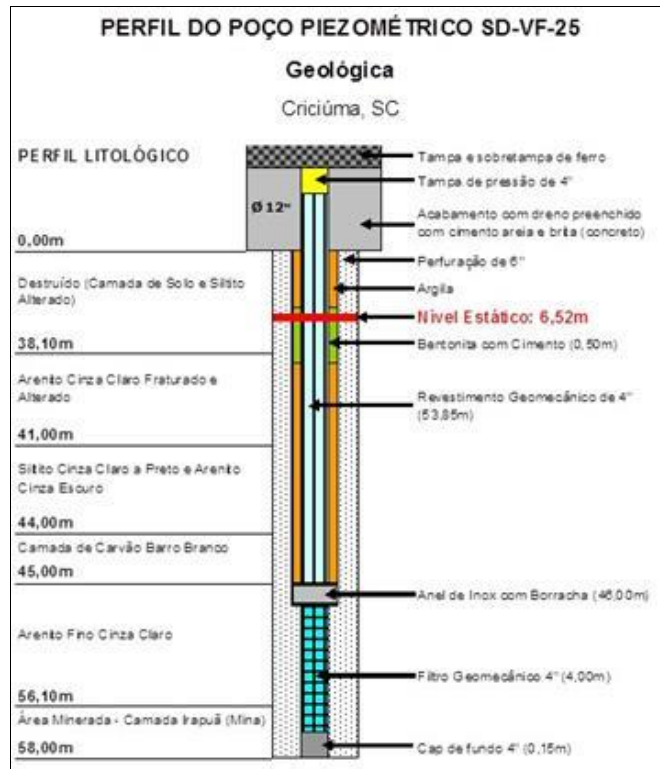


Figura 8 – Perfil construtivo do poço SD-VF-25

Figure 8 - Constructive profile of the SD-VF-25 well

Fonte: Geologica (2008)

Condutividade Hidráulica (K) $7,75 \times 10^{-2}$ m/min (4,65 m/h), mostra a velocidade com que a água se desloca dentro das galerias e ou falhas conectadas à mina subterrânea. A distância entre o poço onde foi injetada a Rodamina B e a Lagoa Língua do Dragão é de 550 metros. Os cálculos, baseados na Condutividade Hidráulica e na distância a ser percorrida, mostraram que a Rodamina B injetada diretamente na galeria da mina, levaria em torno de 5 dias para atingir a Lagoa Língua do Dragão.

Foi preparada uma solução de 4 kg de Rodamina B em 60 litros de água ácida de uma das lagoas da área. A solução de Rodamina B foi preparada conforme orientação do fornecedor, que indicou que a melhor maneira de diluir a mesma é com água quente ou com água ácida. Para injetar foi colocada uma mangueira até os 57 m de profundidade dentro do poço. Esta mangueira estava conectada à bombona com a solução de Rodamina B. Aberta a torneira da bombona, foi iniciada a injeção da Rodamina B diretamente na galeria da mina. Baseado no resultado do ensaio de bombeamento e

procurando trabalhar com segurança, as coletas de amostras na Lagoa Língua do Dragão e no poço PZ-11 iniciaram no 4º dia após a injeção da Rodamina B. O objetivo era comprovar a interconexão da mina subterrânea com a Lagoa Língua do Dragão, não interessando saber a concentração de traçador detectada.

A detecção da Rodamina B pode ser feita de duas maneiras, por colorimetria ou por fluorescência. Neste caso optou-se pela fluorescência devido a grande quantidade de água existente na Lagoa Língua do Dragão, fato este, que impediria a detecção por colorimetria devido a diluição.

Optou-se por construir uma série de envelopes de tela de nylon contendo carvão ativado na granulometria de 2 mm de diâmetro. Essa metodologia foi baseada no trabalho de Genthner et al (2003).

Os envelopes foram construídos de modo que pudessem ser colocados na lagoa Língua do Dragão e dentro de poço. A Figura 9 mostra os envelopes e o carvão ativado utilizado.

Para garantir a confiabilidade dos re-

sultados, pois não se sabia qual a reação do carvão ativado com as águas ácidas da Língua do Dragão e com a Rodamina B, optou-se também, por realizar amostragens de água nos

dois pontos selecionados. As análises foram executadas no Laboratório do Instituto de Química da Universidade Federal Rio Grande do Sul.



Figura 9 – Envelopes de tela de nylon e carvão ativado
Figure 9 - Nylon screen envelopes and activated carbon
Fonte: Geologica (2008)

Antes de iniciar a injeção de Rodamina B no poço SD-VF-25, foram coletadas amostras de água nos 3 pontos, Língua do Dragão, poço SD-VF-25 e poço IPH-SD-11 (Figura 10), com a finalidade de determinar o

“background” dos mesmos.

A Rodamina B foi injetada através de uma mangueira plástica cristal, diretamente na galeria da mina a 57 metros de profundidade.



Figura 10 – Localização dos pontos de amostragem e injeção
Figure 10 - Localization of sampling points and injection
Fonte: Geologica (2008)



Figura 11 - Bombona com solução de Rodamina B

Figure 11 - Bottle with Rhodamine B solution

Fonte: Geologica (2008)

Quatro dias após a injeção da Rodamina B iniciou o monitoramento, através da coleta de amostras de água e amostras dos envelopes com carvão ativado.

Os envelopes com carvão ativado foram colocados no exutório da lagoa Língua do Dragão e no poço IPH-SD-11. 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. A Figura 12 mostra os gráficos de “background” dos poços VF-SD-25, da lagoa Língua do Dragão e do poço IPH-SD-11, respectivamente.

É possível observar na figura 12 a ausência da banda de emissão da Rodamina B (área demarcada pelo retângulo em cor cinza), indicando que as amostras sem o corante não apresentam outras bandas de emissão de substâncias interferentes, potencialmente presentes no meio, e que o corante mostra-se adequado para o estudo em questão.

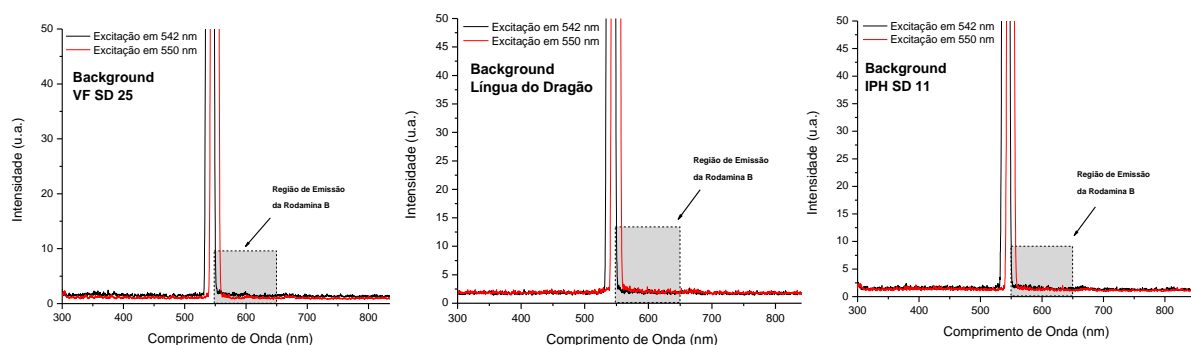


Figura 12 – “Background” do poços VF-SD-25, Língua do Dragão e IPH-SD-11

Figure 12 - "Background" of VF-SD-25 well, Língua do Dragão and IPH-SD-11 well

Fonte: Modificado de Geologica (2008)

Das 13 amostras coletadas na Língua do Dragão, após a injeção, em 4 amostras não foi detectado o corante Rodamina B, em 5 amostras houve indícios do corante e em 4 amostras houve a detecção do corante. Como o monitoramento iniciou no 4º dia, as

primeiras amostras não detectaram o corante. A Rodamina B foi detectada no 5º dia de monitoramento, conforme calculado através do ensaio de bombeamento. A Figura 13 mostra um dos gráficos onde foi detectada a Rodamina B.

No poço IPH-SD-11, foram analisadas apenas 3 amostras onde foi detectada a Rodamina B. Como o objetivo era comprovar ou não a conexão da mina subterrânea, através da falha geológica, com o poço IPH-SD-11, não houve a necessidade de se analisar todas

as amostras de água do poço. Este poço foi incluído no monitoramento porque apresentou nos resultados de análises físico-químicas anteriores, características semelhantes às do poço SD-VF-25, pH 7,6 e forte cheiro de enxofre.

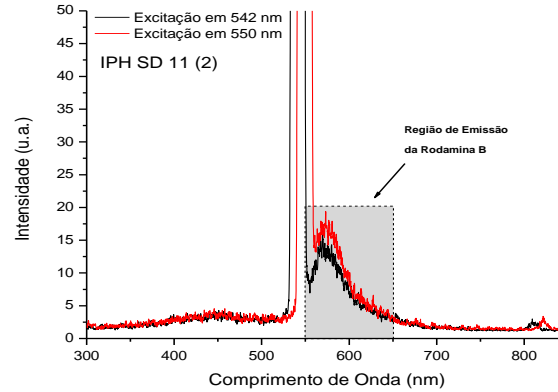
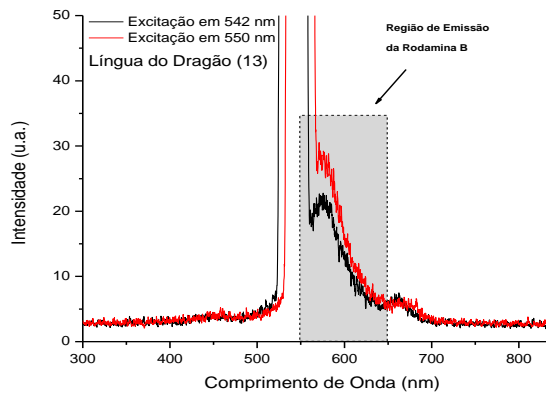


Figura 13 – Detecção da Rodamina B na Língua do Dragão e no IPH-SD-11

Figure 13 - Detection of Rhodamine B in the Língua do Dragão and IPHI-SD-11

Fonte: Modificado de Geologica (2008)

4 CONCLUSÃO

Este estudo permitiu comprovar que, a mineração de carvão a céu aberto é altamente impactante ao meio ambiente, principalmente ao meio ambiente subterrâneo. A mineração de carvão a céu aberto provoca a interconexão entre os aquíferos livres e os confinados, provocando um impacto ambiental irreversível.

No caso do Campo Vila Funil, onde ocorreram atividades de mineração de carvão a céu aberto e por galeria, pode-se constatar que, houve a interconexão citada acima e, além disso, a existência de falhamentos geológicos cortando a área que auxiliaram na interconexão entre as águas da mina subterrânea com as águas superficiais da lagoa Língua do Dragão. Esta situação foi detectada graças ao balanço hídrico realizado na área do Campo Vila Funil e comprovada através do uso de traçador. As galerias da mina e a falha geológica se comportam como um aquífero cárstico.

O uso do traçador Rodamina B mostrou-se eficiente no objetivo de mostrar

a interconexão entre a mina subterrânea e a lagoa Língua do Dragão.

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 cársticas 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 Engenharia e Meio Ambiente Ltda. **Projeto conceitual de recuperação de área degradada do campo Vila Funil – Siderópolis – SC**. 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.