

## ANÁLISE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE CARVÃO RECUPERADAS: UM ESTUDO DE CASO EM SANTA CATARINA

Albert Teixeira Cardoso<sup>1</sup>, Guilherme Casarotto Troian<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM. Rua Jorge da Cunha Carneiro, 490. Criciúma (SC).  
albert.cardoso@sgb.gov.br.

**Palavras-Chave:** Recuperação ambiental; Drenagem ácida de minas; Monitoramento de águas subterrâneas

### INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XX, a mineração de carvão no sul de Santa Catarina foi conduzida intensivamente por várias empresas, sem considerar a questão ambiental, resultando em mais de 6 mil hectares de áreas degradadas. A contaminação mais significativa é a Drenagem Ácida de Minas, que impacta gravemente os recursos hídricos. A recuperação de parte dessas áreas, que estão em sob responsabilidade da União, tem sido realizada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). Este artigo irá apresentar os resultados do monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas realizados desde então na área denominada Área IV, Belluno.

### MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Área IV – Belluno, localizada na cidade de Siderópolis, Santa Catarina, abrangendo 42,23 hectares (Figura 1 a). A recuperação ambiental foi efetuada através de reconformação topográfica, uso de material argiloso para construção do solo, e introdução de vegetação. Na Figura 1b se observa o modelo conceitual hidrogeológico para a área. O material perfurado é composto por rejeito e estéril de mineração.

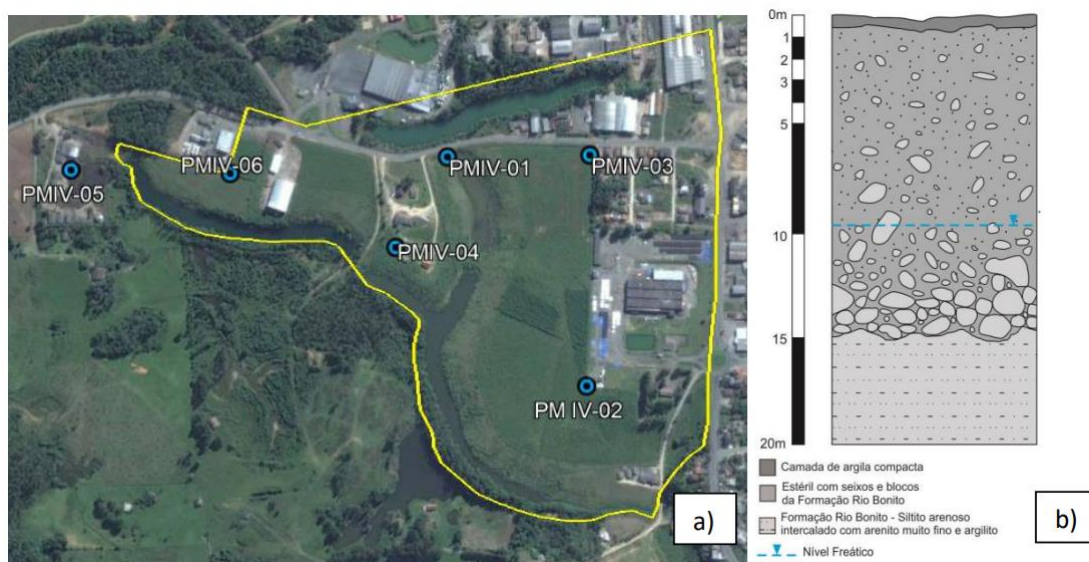


Figura 1. a) Área de estudo e localização poços de monitoramento; b) Modelo hidrogeológico conceitual. (Fontes: a) Google Earth Pro; b) SGB/CPRM).

Após a recuperação da área, 6 poços de monitoramento foram construídos (Figura 1a, círculos em azul), porém não foi encontrado água em um deles (PMIV05). Este estudo utilizou os resultados de monitoramento destes poços entre os anos de 2018 e 2023. A coleta de amostras nos poços foi conduzida utilizando o método de baixo fluxo (*low flow*), conforme descrito por Puls & Barcelona (1996). As análises foram realizadas conforme documentado por Cardoso & Fan (2021).

Para análise da evolução temporal foi utilizado o teste de Mann-Kendall (Kendall, 1975), adequado para identificar tendências em séries temporais não paramétricas e com dados coletados em intervalos irregulares. Focamos na análise dos parâmetros pH, sulfato e ferro, cruciais para entender a dinâmica da drenagem ácida de mina. O pH é indicativo da acidez da água, enquanto as concentrações de sulfato e ferro refletem a oxidação de sulfetos e a mobilização de metais, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados do teste de Mann-Kendall para os parâmetros dos poços:

Poço	Parâmetro	Kendall Tau	P-Value	Tendência	Significância
PMIV01	pH	0.440	0.061	aumento	não significativo
	Fe total	-0.564	0.017	diminuição	<b>significativo</b>
	Sulfato	-0.257	0.274	diminuição	não significativo
PMIV02	pH	-0.418	0.087	diminuição	não significativo
	Fe total	0.200	0.445	aumento	não significativo
	Sulfato	0.527	0.026	aumento	<b>significativo</b>
PMIV03	pH	0.164	0.542	aumento	não significativo
	Fe total	0.164	0.542	aumento	não significativo
	Sulfato	0.018	1.000	aumento	não significativo
PMIV04	pH	0.091	0.761	aumento	não significativo
	Fe total	-0.127	0.648	diminuição	não significativo
	Sulfato	0.636	0.006	aumento	<b>significativo</b>
PMIV06	pH	0.200	0.445	aumento	não significativo
	Fe total	-0.440	0.061	diminuição	não significativo
	Sulfato	-0.309	0.218	diminuição	não significativo

Os resultados do teste de Mann-Kendall indicam variações entre os poços e entre os parâmetros de cada poço. O pH não mostrou tendências significativas de aumento ou diminuição em nenhum dos poços. O ferro total apresentou uma tendência significativa de diminuição apenas no poço PMIV01, enquanto o sulfato mostrou tendências de aumento significativas nos poços PMIV02 e PMIV04. Essas variações nos resultados refletem a complexidade de análise de tendência na água subterrânea da área. Dentre os aspectos que influenciam na qualidade e sua evolução temporal podem ser atribuídas questões pontuais de cada poço, que incluem diferenças no tipo de material contaminante (estéril/rejeito), na granulometria e na compacidade desses materiais. Estas características geológicas e geoquímicas distintas impactam diretamente a qualidade da água subterrânea nos diferentes pontos de monitoramento. Além disso, a não detecção de melhoria da qualidade geral da água pode ser justificada pelo método utilizado na recuperação, que não soluciona problemas de entrada de água lateral (freático) ou inferior (aquífero profundo) na área.

## CONCLUSÃO

Este estudo demonstra a complexidade e os desafios na recuperação de áreas degradadas por mineração de carvão, evidenciando variações significativas nos parâmetros monitorados devido às características geoquímicas e geológicas distintas de cada local de monitoramento. Os resultados destacam a necessidade de estratégias de recuperação adaptadas às condições específicas de cada área para efetivamente mitigar os impactos da drenagem ácida de minas e melhorar a qualidade da água subterrânea.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso, A. T.; Fan, F. M. A first evaluation of water resource conditions after an environmental reclamation effort at a former degraded coal mining area in Southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, n. 10, p. 1–16, 2021.
- Kendall, M. G. *Rank Correlation Methods*. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.
- Puls, R. W.; Barcelone, M. J. Low-flow (minimal drawdown) ground-water sampling procedures, U.S. EPA Ground Water Issue: EPA/540/S-95/504.