

A DISPONIBILIZAÇÃO NATURAL DE CROMO E NÍQUEL EM ÁGUA SUBTERRÂNEA NO COMPLEXO ULTRABÁSICO ALCALINO DE JACUPIRANGA, SP

Augusto Gonçalves Nobre ^{1,2,3}, Dayane Silva Rafael ², Juan Alfredo Guevara Carrió ³

¹ Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562. São Paulo (SP). augusto.goncalves@usp.br

² Escola Superior de Administração, Marketing e Comunicação. Avenida Adolfo Pinheiro, 893. São Paulo (SP). dayane.s.rafael@gmail.com

³ Universidade Presbiteriana Mackenzie. Rua da Consolação, 930. São Paulo (SP). juanalfredo.carrio@mackenzie.br

Palavras-Chave: metais; rochas ultrabásicas; água subterrânea

INTRODUÇÃO

O Complexo Ultrabásico Alcalino de Jacupiranga é conhecido desde o final do século XIX (Bauer, 1890) e corresponde a um dos mais característicos maciços alcalinos dentre os diversos existentes ao redor da Bacia do Paraná. Possui uma forma ovalada, com elongação NW-SE, ocupando uma área de 65 km² e se apresenta encaixado sobre rochas pré-cambrianas da Formação Turvo-Cajati e da Suíte Intrusiva de Itapeúna.

A estrutura do maciço apresenta dois corpos intrusivos principais (Figura 1): o dunitico setentrional e o clinopiroxenítico (jacupiranguítico) meridional, que intrudiram sequências proterozoicas durante eventos associados à gênese do Arco de Ponta Grossa.

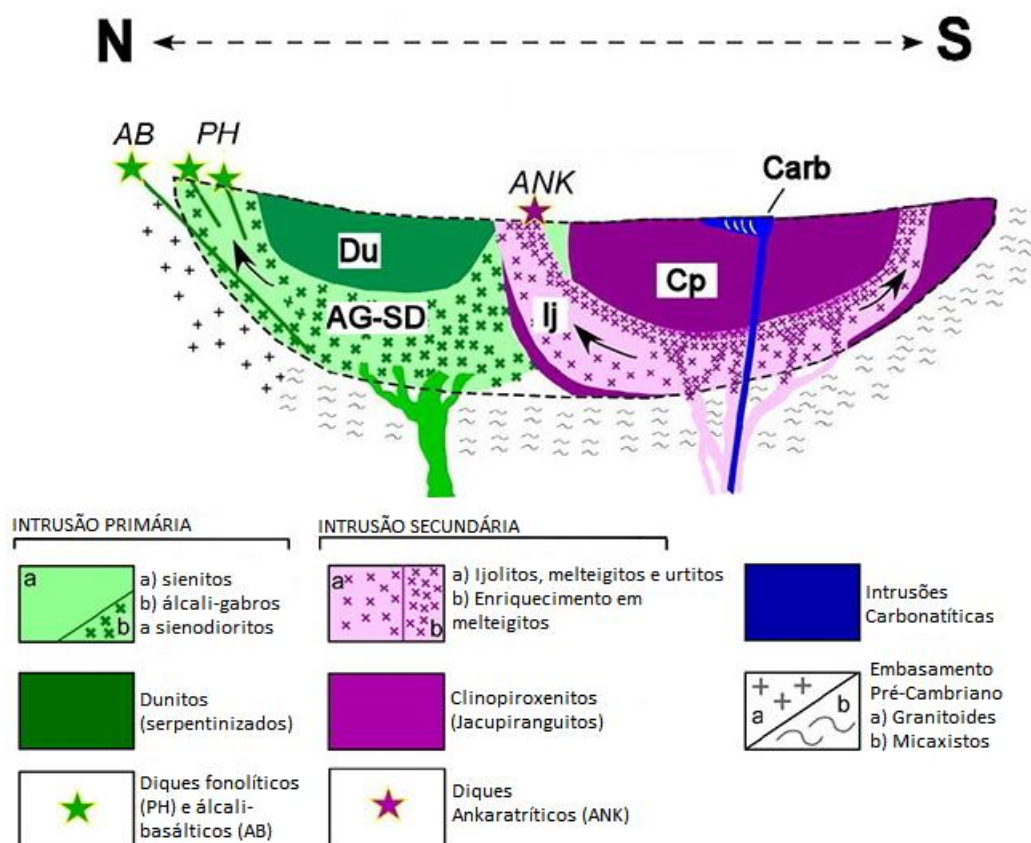


Figura 1. Contexto geológico das intrusões ígneas. Du – dunitos; Cp – clinopiroxenitos; Carb – carbonatitos; AG-SD – álcali-gabros a sienodioritos; Ij – ijolitos; AB – diques álcali-basálticos; PH – diques fonolíticos; ANK – diques ankaratríticos (modificado de Beccaluva et al., 2017)

Segundo Ulbrich e Gomes (1981), o corpo setentrional, dunitico, corresponde à intrusão de rochas mantélicas fundamentalmente compostas por dunitos, com olivina monzonitos, dioritos e fenitos sieníticos associados. Para os mesmos autores o corpo meridional, piroxenítico, apresenta rochas de transição entre mantélicas e astenosféricas, compostas por carbonatitos, fenitos sieníticos, ijolitos e, predominantemente, clinopiroxenitos.

De acordo com Oliveira et al. (1988), o Complexo de Jacupiranga possui rochas naturalmente enriquecidas em minerais de composição metálica e, devido ao clima quente e úmido que favorece a ação do intemperismo químico, permite o desenvolvimento de camadas de solo laterítico com teores de metais mais significativos do que as concentrações observadas nos protolitos.

Ressalte-se ainda que o subsolo da região possui interesse econômico, porém o risco ambiental decorrente ainda não é bem conhecido. O teor de metais no solo do Complexo Alcalino de Jacupiranga apresentou interesse de exploração mineral em diversos períodos da indústria brasileira, mas o conhecimento acerca da lixiviação e, conseqüentemente, a ocorrência dessas substâncias em água subterrânea, ainda são restritos.

A fim de aprofundar e ampliar a bibliografia a que se fez referência – e, portanto, o conhecimento sobre o terreno analisado –, este trabalho concentrou-se em adquirir dados geoquímicos da ocorrência de metais nas matrizes ambientais solo e água subterrânea, com o intuito de complementar a caracterização da alteração supérgena das rochas piroxeníticas, a lixiviação dos metais e a sua disponibilização natural nas águas subterrâneas associadas a essas litologias. Em etapa posterior, fez-se a análise e a interpretação dos dados adquiridos.

Uma preocupação adicional do trabalho foi determinar a existência de risco à ocupação humana (predominantemente de caráter industrial) dos terrenos contextualizados hidrogeologicamente, especialmente com vistas à potencial nocividade das matrizes ambientais à saúde de trabalhadores industriais. Para tanto, fez-se a comparação dos valores obtidos com os valores orientadores de intervenção estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a fim de determinar se a disposição natural de metais configura risco à saúde laboral.

A metodologia empregada levou em consideração que os processos geológicos que promovem a liberação de metais em água subterrânea a partir de minerais intemperizados são complexos e variam conforme a ocorrência geológica e seu sistema hidrogeológico associado. Por esse motivo, o estudo se voltou aos metais níquel e cromo (III), de importante ocorrência no complexo, conforme exposto por Ruberti et al. (2000).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionados 40 pontos para a realização de sondagens para a coleta de solo em regiões mapeadas como piroxenitos. Sempre que possível, quando o solo não se mostrou impenetrável, as amostragens foram realizadas em duas profundidades: aos 0,30 m e aos 0,60 m, utilizando-se como critério de seleção regiões afastadas de atividades potencialmente contaminantes e com boa distribuição espacial dentro do contexto geológico e hidrogeológico de interesse. O nível d'água do aquífero superficial da região fica em torno de 0,60 m, reforçando a importância dessa profundidade na análise dos materiais geológicos.

A técnica empregada na amostragem de solo foi o *direct push* com uso de um martelo manual, hastes e amostrador de solo tubular, contendo em seu interior um *liner* de polietileno cilíndrico para a coleta de solo.

Durante o levantamento de campo foram observados 13 poços de monitoramento instalados em solos contextualizados nas litologias de interesse, os quais permitiram a amostragem de água subterrânea pelo método da purga de baixa vazão (*low flow sampling*).

A amostragem de água subterrânea pela técnica da baixa vazão baseia-se na estabilidade hidráulica, visando minimizar as perturbações causadas nos fluxos e nível d'água em decorrência da retirada de água durante a amostragem. Para isso, a bomba de amostragem é posicionada no ponto médio da coluna d'água de

cada poço, adotando-se uma vazão inicial arbitrária, mas suficientemente baixa para não causar rebaixamentos excessivos no nível d'água. A estabilidade hidráulica deve atender aos seguintes padrões:

- Potencial Hidrogeniônico (pH) oscilando entre $\pm 0,2$.
- Temperatura oscilando em $\pm 0,5$ °C.
- Oxigênio Dissolvido (OD) oscilando em $\pm 0,2$ mg/L.
- Condutividade elétrica oscilando em ± 05 %.
- Potencial de Redução (Eh) oscilando em ± 05 %.

Após a estabilização, adotou-se a vazão atingida como máxima, e a partir desse momento foi coletada a amostra de água subterrânea no poços de monitoramento.

A amostra de água subterrânea do poço tubular profundo foi coletada diretamente da torneira na saída da tubulação do poço.

As análises químicas quantitativas para os parâmetros cromo (III) e níquel para as amostras de solo e água subterrânea foram realizadas por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES).

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO SOLO

Os valores de cromo e níquel obtidos a partir do solo podem ser observados nas Tabelas 1 a 4. Os valores identificados como n.d. nas tabelas correspondem a valores não detectados do parâmetro analisado. As amostras com valores n.a. apontados nas tabelas são associadas a profundidades em que o solo se tornou impenetrável antes que fosse possível alcançar o horizonte de interesse, não havendo a coleta de amostra.

Tabela 1. Concentração de cromo e níquel em solo, parte 1

PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRAS DE SOLO																			
	S-1		S-2		S-3		S-4		S-5		S-6		S-7		S-8		S-9		S-10	
Profundidade (m)	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60
	mg/Kg																			
CROMO	64,00	86,00	71,00	35,00	41,00	77,00	57,00	52,00	331,00	351,00	19,00	46,00	47,00	47,00	1,50	1,50	19,00	73,00	2,50	1,80
NÍQUEL	54,00	100,00	40,00	70,00	31,00	53,00	41,00	59,00	69,00	117,00	13,00	43,00	24,00	70,00	n.d.	n.d.	14,00	11,00	3,10	n.d.

Tabela 2. Concentração de cromo e níquel em solo, parte 2

PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRAS DE SOLO																			
	S-11		S-12		S-13		S-14		S-15		S-16		S-17		S-18		S-19		S-20	
Profundidade (m)	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60
	mg/Kg																			
CROMO	16,00	n.a.	284,00	302,00	185,00	220,00	53,00	57,00	21,00	54,00	181,00	13,00	5,8	15,00	1,70	4,20	14,00	15,00	1,90	1,30
NÍQUEL	30,00	n.a.	142,00	95,00	58,00	65,00	39,00	82,00	16,00	24,00	31,00	6,60	3,90	3,50	n.d.	5,00	23,00	23,00	n.d.	n.d.

Tabela 3. Concentração de cromo e níquel em solo, parte 3

PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRAS DE SOLO																			
	S-21		S-22		S-23		S-24		S-25		S-26		S-27		S-28		S-29		S-30	
Profundidade (m)	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60
	mg/Kg																			
CROMO	122,00	22,00	17,00	5,20	22,00	4,90	1,80	94,00	1,40	30,00	126,00	1,00	3,30	5,10	71,00	197,00	44,00	n.a.	113,00	n.a.
NÍQUEL	11,00	11,00	15,00	7,90	8,30	n.d.	n.d.	103,00	n.d.	25,00	89,00	n.d.	4,10	5,70	68,00	102,00	5,50	n.a.	22,00	n.a.

Tabela 4. Concentração de cromo e níquel em solo, parte 4

PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRAS DE SOLO																			
	S-31		S-32		S-33		S-34		S-35		S-36		S-37		S-38		S-39		S-40	
Profundidade (m)	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60	0,30	0,60
	mg/Kg																			
CROMO	33,00	10,00	8,00	9,90	8,60	7,90	2,80	2,30	124,00	21,00	25,00	n.a.	21,00	17,00	28,00	16,00	17,00	17,00	2,30	n.d.
NÍQUEL	36,00	33,00	9,50	4,80	4,50	3,10	n.d.	n.d.	52,00	46,00	47,00	n.a.	30,00	32,00	19,00	15,00	11,00	5,70	4,60	3,80

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O poço tubular profundo possui aproximadamente 50 m de profundidade e sua seção filtrante se encontra encaixada em rocha inalterada, não possuindo correlação direta com o solo. Por esse motivo, a análise da qualidade da água subterrânea proveniente desse poço proporciona uma informação adicional para a caracterização da liberação de metais a partir da rocha pouco intemperizada.

A água subterrânea coletada junto ao poço tubular profundo não apresentou concentrações identificáveis de cromo, mas foi identificado um teor de 2,6 µg/L de níquel.

As concentrações de níquel e cromo encontradas nos 13 poços de monitoramento podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5. Concentração de cromo e níquel em água subterrânea

PARÂMETROS ANALISADOS	AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA												
	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09	PM-10	PM-11	PM-12	PM-13
	µg/L												
CROMO (III)	n.d.	27,00	21,00	n.d.	n.d.	72,00	60,00	334,00	43,90	n.d.	n.d.	58,00	9,70
NÍQUEL	2,20	10,00	8,50	43,00	5,70	38,00	13,50	138,00	5,70	2,10	5,60	43,90	4,40

DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

O trabalho de Oliveira et al. (1988) mostra que as rochas piroxeníticas do Complexo Alcalino de Jacupiranga apresentam teor médio de níquel de aproximadamente 0,3% em massa da rocha, mas que em solos lateríticos é possível observar um aumento dessa concentração para 1,5%.

Foi possível observar a concentração média de níquel em 31 mg/kg para as amostras de solo analisadas. O reflexo disso é a concentração média em água subterrânea da ordem de 15,22 µg/L.

Ruberti et al. (2000) demonstram que a ocorrência de cromo trivalente nas rochas do complexo possui teor médio de 0,3% em massa, mas o enriquecimento supérgeno na concentração do metal faz com que sua acumulação em solo seja da ordem de 3,0 %.

As concentrações em massa de cromo identificadas em solo foram da ordem de 55,59 mg/kg que refletiram na incorporação em água subterrânea do aquífero superficial de teor médio de 24,30 µg/L.

Foram excluídos da análise os dados obtidos da amostra de água subterrânea PM-08, devido aos seus teores elevados, considerados anômalos.

Quando comparados aos valores orientadores da CETESB para o estado de São Paulo, conforme a Decisão de Diretoria (DD) nº 045/2014, para a matriz água subterrânea, tanto para o parâmetro níquel, quanto o parâmetro cromo, os mesmos situaram-se abaixo dos limites de intervenção de, respectivamente, 70 e 50 µg/L para um cenário de exposição de trabalhadores industriais às matrizes ambientais, considerando que a principal ocupação humana do complexo alcalino permanece sendo por indústrias e empresas de extrativismo mineral.

De forma análoga, para o solo, o valor orientador de intervenção para o mesmo cenário é de 400 mg/kg para cromo e de 3.800 mg/kg para níquel.

Desta forma, foi possível concluir que apesar da ocorrência natural de cromo e níquel nesse contexto geológico e hidrogeológico, os metais não chegam a apresentar risco à saúde para o principal cenário de ocupação humana na região ao serem disponibilizados em água subterrânea, mesmo após se enriquecerem durante o intemperismo das rochas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bauer, H. C. As minas de Iporanga. *Revista Engenharia*, n. 232, p. 85-87. 1890.
- Beccaluva, L.; Bianchini, G.; Natali, C. e Siena, F. The alkaline-carbonatite complex of Jacupiranga (Brazil): Magma genesis and mode of emplacement. *Gondwana Research*, vol. 44, p. 157-177. 2017.
- Oliveira, S. M. B.; Melfi, A. J.; Carvalho, A.; Frierich, G.; Marker, A.; Kanig, M. Lateritic Evolution of the Jacupiranga Alkaline Complex, SP. *Geochimica Brasiliensis*, vol. 2, n. 2, p. 119-126. 1988.
- Ruberti, E.; Gomes, C. B.; Melcher, G. C.; Ulbrich, H. H. G. J.; Ulbrich, M. N. C. The Jacupiranga Carbonatite Complex (Part I) and the Poços de Caldas Alkaline Massif (Part II) – Minas Gerais and São Paulo states, Eastern Brazil. *Post-Congress Field Trip. 31º International Geological Congress*, 44 p. 2000.
- Ulbrich, H. H. G. J. e Gomes, C. B. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sciences Review*, vol. 17, p. 135-154. 1981.