

*Anais*

# III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM

## Editores

Adilson Luis Bamberg

Carlos Augusto Posser Silveira

Éder de Souza Martins

Magda Bergmann

Rosane Martinazzo

Suzi Huff Theodoro



# POTENCIAL DAS ROCHAS DAS PILHAS DE REJEITOS DA MINERAÇÃO FERBASA-CIA DE FERROLIGAS DA BAHIA COMO CORRETIVOS E REMINERALIZADORES DE SOLO

Alessandra Elisa Blaskowski<sup>1</sup>; Magda Bergmann<sup>1</sup>; Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>; Jérémie Garnier<sup>3</sup>; Maria Abadia Camargo<sup>1</sup>; Oliveira Américo Cavalcante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Serviço Geológico do Brasil-CPRM - alessandra.blaskowski@cprm.gov.br, magda.bergmann@cprm.gov.br, abadia.camargo@cprm.gov.br, oliveira.cavalcante@cprm.gov.br; <sup>2</sup>Embrapa Clima Temperado, augusto.posser@embrapa.br; <sup>3</sup>Universidade de Brasília-UnB, garnier.geol@gmail.com

**Sumário:** Rochas silicáticas com potencial para remineralização e condicionamento de solos foram recentemente incluídas na lei dos fertilizantes (LEI N° 12.890/2013), e passaram a ter normatização específica (IN MAPA 05 e 06/2016). O aproveitamento de rochas disponíveis em pilhas de descartes da indústria extrativa mineral agrega sustentabilidade e contribui para diminuir o impacto ambiental da mineração. O trabalho do *Projeto Agrominerais da Região de Irecê e Jaguarari-Bahia*, da CPRM - Serviço Geológico do Brasil incluiu os materiais descartados pela mineração de cromita na caracterização de rochas para remineralização e condicionamento de solos. Os materiais serão destinados ao uso no assentamento Baixio de Irecê da CODEVASF- Companhia de Desenvolvidos dos Vales do São Francisco e Parnaíba. **Palavras-chave:** agromineral; rejeito de mineração; remineralizadores; rochas ultramáficas.

## INTRODUÇÃO

A mineradora FERBASA CIA DE FERRO LIGAS DA BAHIA é responsável pela operação de duas grandes lavras de cromita: a *Mina Coitezeiro*, (município de Campo Formoso-BA), com lavra a céu aberto e rejeitos a serpentinitos, dunitos e piroxenitos; e a *Mina Ipueira*, (Andorinha-BA) cuja lavra é subterrânea e gera rejeitos formados por serpentinitos e dunitos além de serpentina-flogopita mármores, wollastonita mármores e serpentina mármores.

As rochas máficas e ultramáficas apresentam capacidade para neutralizar a acidez do solo por meio do Poder de Neutralização (PN) de seus minerais magnesianos que se dá pela reação do ânion hidroxila (OH<sup>-</sup>) com os cátions H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> presentes em solos, sendo também fontes de Mg. No caso dos serpentinitos, rochas ultramáficas constituídas essencialmente por minerais da família das serpentinas, os processos de decomposição em solos levam os minerais à perda de Mg e Ca, gerando óxidos e hidróxidos de Al, Si e Fe (CHESWORTH, 1973).

Este estudo buscou a caracterização química e mineralógica dos descartes da mineração de cromita no estado da Bahia em busca de agrominerais condicionadores de solos com teores adequados de nutrientes e dentro de limites quanto a Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) e faz parte dos resultados do Projeto Agrominerais da Região de Irecê e Jaguarari-Bahia, da CPRM - Serviço Geológico do Brasil (Blaskowski, Bergmann e Cavalcante 2016, no prelo).

Para o presente trabalho foram empregados parâmetros propostos de uso das rochas com base na instrução normativa para remineralizadores e substratos destinados à agricultura (Instrução Normativa nº 5, de 14 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA) em vigor.

## MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do potencial como fonte de nutrientes e correção de acidez solos dos rejeitos das lavras de cromita da FERBASA contou com trabalhos de identificação e coleta de diversos litotipos, incluindo sua quantificação aproximada em pilhas de descartes. As amostras foram destinadas a análises de litoquímica, petrografia e DRX. Amostras com peso médio de 40 kg foram coletadas para ensaios agronômicos e encaminhadas à CODEVASF.

### Contexto Geológico

A *Mina Coitezeiro* explora um corpo intrusivo máfico-ultramáfico mineralizado a cromita do Complexo Básico-Ultrabásico de Campo-Formoso, situado na borda leste do Granito Campo Formoso. A lavra a céu aberto (Figura 1 A) envolve serpentinitos, dunitos serpentinizados, piroxenitos, hazburgitos e gabros que encaixam as lentes de “*Lump*” (minério de cromitito maciço com teores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  em torno de 37%). Na pilha de rejeitos predominam serpentinitos (Figura 1 B e C), alternados a alguns níveis de escoria de cromitito.

A *Mina Ipueira* situa-se no Complexo Máfico-Ultramáfico do Vale do Jacurici, intrusão máfica-ultramáfica mineralizada em cromita, em parte encaixada em mármore. A lavra é **subterrânea** (Figura 1 D) e envolve serpentinitos, bem como piroxenitos, hazburgitos, dunitos, cromititos e mármore. Em valores estimados com base na observação de campo a pilha de rejeito da Mina Ipueira (Figura 1 E) é composta por aproximadamente 70% de rochas ultramáficas e 30% de rochas carbonáticas (Figura 1 F).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos teores de macronutrientes das amostras de rocha provenientes dos rejeitos das lavras Coitezeiro e Ipueira (Tabela 1) permite observar que todas as amostras atendem ao quesito de soma de bases da IN nº 5/2016, embora os valores superiores a 30% devam-se praticamente ao óxido de magnésio. Apenas uma amostra (serpentina-flogopita mármore) apresenta teor de  $\text{K}_2\text{O}$  superior a 1%. Os mármore da Mina Ipueira obtiveram teores  $\text{MgO}$  entre 18 e 27% e de SB superiores à 35%, agregando teores de  $\text{CaO}$  (12 a 26%).

Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  (5,38%) encontrado em amostra de serpentina-flogopita mármore (estimado em 4-5% em volume na pilha) são creditados à presença da flogopita, mineral com capacidade de disponibilizar potássio. A presença do flogopita mármore pode contribuir, por meio de *blendagem*, para a obtenção de um agromineral que atenda à IN nº 5/2016, que prevê um mínimo de 1% de  $\text{K}_2\text{O}$  nos remineralizadores de solos.

Em relação aos micronutrientes destacam-se nas rochas das pilhas de descartes Ni, Cr e Fe além de teores favoráveis de cobalto (até 80,6 ppm) ambos em amostras da mina Ipueira. Ainda os teores de cobre (até 37,1 ppm) podem ser aproveitáveis, considerando principalmente

a associação deste micronutriente aos teores relativamente altos de vanádio que todas as rochas apresentam (Tabela 1).

Em relação aos EPT as rochas não possuem teores impeditivos de As, Cd, Hg e Pb de acordo com a IN nº 5/2016.

Embora a IN nº 5/2016 não atribua limites para Cr é importante que algumas considerações sejam feitas sobre o emprego de rochas ricas neste elemento. Presente nos minerais formadores das rochas na valência  $\text{Cr}^{3+}$  o cromo constitui-se em nutriente essencial para o metabolismo humano, desempenhando um papel importante na metabolização dos açúcares. No entanto no estado oxidado  $\text{Cr}^{6+}$  o Cr tem solubilidade elevada e é altamente tóxico. É importante e necessário estudar a interação de rochas ricas em cromo com o sistema solo-planta, pois conforme observado por Garnier et al. (2006) as plantas podem promover a biodisponibilização de cromo através de sua absorção e translocação (concentração e mudanças na forma do Cr). Segundo os autores citados a passagem do Cr ao estado  $\text{Cr}^{6+}$  pode ainda ocorrer em solos por reações de oxirredução com óxidos de Mn, ou por reações com o ânion  $\text{PO}_4^{-3}$ , já que a afinidade do fosfato para as fases portadoras de Cr é maior para o  $\text{Cr}^{6+}$ . Considerando as situações acima referidas e um provável uso agrícola deste tipo de rocha, é necessário monitoramento no sistema solo-planta para o caso de aplicação em áreas mal drenadas, de várzeas, com acúmulo de óxidos de Mn e no caso das áreas de produção de hortaliças, as quais, de um modo geral, apresentam teores elevados de fósforo.

**Figura 1** – (A) Aspecto da cava da lavra Coitezeiro; (B) Serpentinito da lavra Coitezeiro, com veios de serpentina; (C) Bancadas de rejeito estabilizado da Cava Coitezeiro, (D) Entrada da Mina Ipueira; (E) Uma das pilhas de rejeito da Mina Ipueira e (F) Rochas carbonáticas que compõem aproximadamente 30% do rejeito da lavra de Ipueira: (1) serpentina mármore, (2) wollastonita mármore, e (3) serpentina-flogopita mármore.



A



B



C



D



E



F

Como os rejeitos da mineração de cromita são compostos predominantemente por rochas ultramáficas que intrinsecamente apresentam também teores elevados de Ni, é necessário observar ainda que em teores superiores a 500 ppm o níquel é considerado fitotóxico. Os teores de Ni nas rochas ultramáficas dos rejeitos apresentaram quantidades equivalentes ao triplo deste valor, em torno de 1500 ppm (Mina Coitezeiro com 1.404,6 ppm e Mina Ipueira com 1.614,1 ppm de Ni). Torna-se necessária a *blendagem* (mistura) destes materiais com outros agrominerais de maneira a diluir estes teores.

**Tabela 1** – Macronutrientes, Soma de Bases (SB) e Micronutrientes nas rochas dos rejeitos das lavras de cromita da FERBASA CIA DE FERRO LIGAS DA BAHIA.

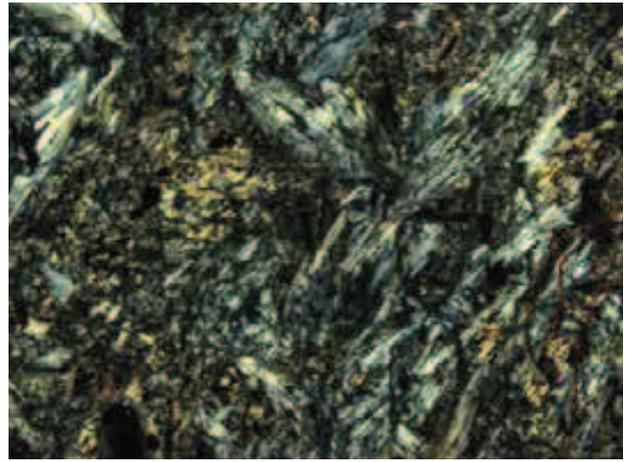
Procedência	Classificação dos tipos de rochas identificadas em cada procedência	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SB	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni
		%						ppm				
Mina Coitezeiro	Serpentinito	5,52	0,04	30,00	<0,01	<b>30,04</b>	16,5	8,0	58,4	19,0	7.516,0	1.404,6
Mina Ipueira	Peridotito/lherzolito	10,80	0,33	30,00	0,16	<b>30,49</b>	9,3	1,0	80,6	10,0	604,0	1.614,1
Mina Ipueira	Serpentina mármore	2,10	16,20	27,22	0,50	<b>43,92</b>	14,4	11,0	34	15,0	36,0	56,8
Mina Ipueira	Wollastonita mármore	1,77	23,01	24,34	<0,01	<b>47,35</b>	37,1	15,0	6,7	2,0	48,0	20,5
Mina Ipueira	Serpentina-flogopita mármore	4,57	12,46	18,15	5,38	<b>35,99</b>	27,1	47,0	20,6	59,0	52,0	58,5

As análises petrográficas e de DRX (Tabela 2), identificaram na maioria das amostras a presença abundante de serpentina ((Mg, Fe)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) um filossilicato hidratado de magnésio e ferro, que atinge concentrações de até 92% na composição modal de rochas da lavra Coitezeiro (Figura 2), e de 60% na composição modal das rochas ultramáficas da pilha de rejeito de Ipueira. A serpentina é um mineral capaz de disponibilizar o macronutriente magnésio, podendo ser recomendada como fonte deste elemento para as plantas e também pode ser utilizada para corrigir a acidez dos solos, principalmente nos casos de regiões que comumente usam calcário calcítico. Outros minerais presentes em rochas da pilha de rejeito da Mina Ipueira são: olivina, clinopiroxênio, hiperstênio e biotita, além de dolomita, calcita, biotita, apatita, wollastonita e flogopita, este último presente principalmente no serpentina-flogopita mármore, rocha que compõe o rejeito da lavra de Ipueira (Figura 3).

**Figura 2** – (A) Serpentinito do rejeito da lavra Coitezeiro e (B) Fotomicrografia (LPX02) evidenciando os cristais de serpentina.



A



B

**Figura 3** – (A) Detalhe do serpentina-flogopita mármore (3) presente no rejeito da lavra Ipuera e (B) Fotomicrografia (LNX02) evidenciando agregados lamelares de flogopita (mineral castanho-claro) que envolvem parcialmente agregados fibrolamelares de serpentina (mineral branco).



A



B

**Tabela 2** – Análises de DRX e Petrografia (composição modal) nas rochas dos rejeitos das lavras de cromita da FERBASA CIA DE FERRO LIGAS DA BAHIA.

Procedência	Classificação Petrográfica	DRX	Composição Modal
FERBASA - Cava Coitezeiro	Serpentinito	Serpentina dominante. Magnetita, clorita, e hydrotalcita e clinopiroxênio pode estar presentes em menor quantidade.	Serpentina 92% Opacos 5% Talco 3%
FERBASA - Mina Ipueira	Peridotito/lherzolito	Serpentina dominante. Clinopiroxênio, magnetita e biotita em menor quantidade.	Serpentina 60% Olivina 15% Clinopirox. 8% Hiperstênio 3% Opacos 10% Carbonato 1% Flogopita 3% Clorita
FERBASA - Mina Ipueira	Serpentina mármore (metaultrabásica serpentinizada e enriquecida em carbonato por alteração hidrotermal)	Dolomita abundante, seguido de serpentina, mica e calcita.	Serpentina 48% Carbonato 40% Biotita 8% Opacos 3% Clorita-Tr
FERBASA - Mina Ipueira	Wollastonita mármore	Dolomita abundante, seguida de calcita e serpentina (provável crisotila). Pequena quantidade de Apatita. Sodalita Tr	Carbonato 48% Epidoto 25% Wollastonita 18% Opacos 5% Flogopita 3%
FERBASA - Mina Ipueira	Serpentina-flogopita mármore (rocha ultrabásica, serpentinizada, enriquecida em flogopita e carbonato)	Biotita (flogopita) dominante, com clinopiroxênio e serpentina subordinados	Flogopita 45% Serpentina 35% Carbonato 15% Opacos 5% Titanita tr

## CONCLUSÕES

Os rejeitos das lavras de cromita são constituídos predominantemente por rochas ultramáficas e têm potencial para corrigir a acidez de solos, além de serem fonte de nutrientes como Ca e Mg.

Nas pilhas de descartes da Mina Ipueira a presença de mármore a flogopita é providencial, permitindo misturas com os diferentes tipos de rochas de maneira a se obter um remineralizador como teor mínimo de  $K_2O$  requerido pela IN nº 5/2016 do MAPA. A composição de um remineralizador a partir de mistura desta e de outras rochas carbonáticas também é requerida para diluir os teores elevados de Ni e Cr, típicos em rochas ultramáficas.

Mesmo com estes cuidados, a realização de testes agronômicos com diferentes tipos de solos e de segurança ambiental e dos alimentos é imprescindível para habilitar as rochas em questão quanto ao seu potencial como remineralizador, e a recomendação do uso agrícola deste rejeito só poderá ser efetuada após a compreensão da dinâmica do Cr em solos e plantas a que se destinem.

Para aproveitamento das rochas descartadas pela mineração de cromita enquanto corretivos de solos é também necessário que se determine capacidade de neutralização relativa ao  $\text{CaCO}_3$ , bem como sua reatividade (RE), e o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) que expressa o quão rápido determinada substância age na correção da acidez em solos (ALCARDE, 2005).

Apesar das restrições para níquel e cromo, comumente encontrados em rochas ultramáficas, a caracterização dos rejeitos das lavras de cromita apresentada pelo Projeto Agrominerais da Região de Irecê e Jaguarari-Bahia, da CPRM - Serviço Geológico do Brasil (Blaskowski, Bergmann e Cavalcante 2016, no prelo) coloca em foco o potencial destes materiais para emprego como remineralizadores e na correção de acidez de solos agrícolas, enquanto materiais destinados ao projeto de agricultura sustentável desenvolvido pela CODEVASF na região do Baixo de Irecê.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. Corretivos de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. **Boletim Técnico ANDA**, São Paulo, n.6, 2005.
- BLASKOWSKI, Alessandra E.; BERGMANN, Magda; CAVALCANTE, Américo O. **Agrominerais da região Irecê-Jaguarari**. Salvador-BA: CPRM, 2016. CD-ROM, no prelo.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA N.º 05, de 10 de março de 2016. Dispõe sobre definições, classificação, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para as plantas, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Seção 1, p.10.
- CHESWORTH, W. The parent rock in the genesis of soils. **Geoderma**, v.10, p.215-225, 1973.
- GARNIER, J. *et al.* Solid speciation and availability of chromium in ultramafic soils from Niquelândia, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v.88, p.206-209, 2006.
- MACHADO, C.T.T. *et al.* Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.
- MARTINS, E.S. *et al.* Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: **Rochas e minerais industriais**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p.205-223.
- RESENDE, A. V. *et al.* Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I. Respostas da soja e do milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/SBCS. (CD-rom), 2005.