



Potencial Agromineral das Rochas de Descarte da Mina de Cromita Ipueira, Bahia
Agromineral Potential of Tailing Rocks from Ipueira Chromite Mine Bahia

Alessandra Elisa Blaskowski^{1,2}; Débora Correia Rios²; Herbet Conceição^{2,3} & Bruna Bueno Mariani⁴

¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Av. Ulisses Guimarães, 2868 - 41.213-000 - Salvador, Bahia, Brasil

² Universidade Federal da Bahia - Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral. Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, 40.170-290 Salvador, Bahia, Brasil

³ Universidade Federal de Sergipe – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Complexo Laboratorial Multiusuários da UFS. Galpão das Geociências, 49.100-000 São Cristóvão, Sergipe, Brasil

⁴ Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Laboratório de Durabilidade dos Materiais. Rua Aristides Novis, 02, Federação, 40210-630 Salvador, Bahia, Brasil
E-mails: alessandra.blaskowski@cprm.gov.br; dcrios@ufba.br; herbet@ufs.br; brunabmariani@gmail.com

Recebido em: 10/05/2018 Aprovado em: 08/10/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_355_373

Resumo

A Mina Ipueira iniciou as suas atividades em 1973 e explora minérios de cromo a mais de 40 anos no Município de Andorinha, interior do Estado da Bahia. Esta operação gera um grande volume de rochas que são descartadas e que podem ser aproveitadas como insumos agrícolas, considerando que as rochas silicáticas com potencial para remineralização e condicionamento de solos foram incluídas na lei dos fertilizantes, e passaram a ter normatização específica. Esse estudo teve como objetivo fazer a caracterização petrológica e química das rochas de descarte da Mina Ipueira com a finalidade de verificar seu potencial agromineral. As análises químicas identificaram a presença de macro e micronutrientes, as análises petrográficas e de Difratometria de Raios-X confirmaram a presença de minerais com capacidade de disponibilizar estes nutrientes, e a Microscopia Eletrônica de Varredura permitiu caracterizar a mineralogia acessória. Demonstra-se que o aproveitamento de rochas disponíveis em pilhas de descartes da indústria extrativa mineral agrega sustentabilidade e contribui para diminuir o impacto ambiental da mineração. Apesar das restrições no uso agrícola de rochas ricas em Cr-Ni, esta pesquisa demonstra o potencial das rochas de descarte da mina de cromo Ipueira como corretor de acidez e remineralizador de solos – fonte dos macronutrientes Ca, Mg, K e micronutrientes Fe, Mn, Si, B e Co. Tal reutilização traria um destino mais nobre aos materiais de descarte de mineração, contribuindo para o desenvolvimento sustentável na região.

Palavras-chave: Agrominerais; Descarte de Mineração; Remineralizadores de Solos

Abstract

Ipueira Mine started its activities in 1973 and has been exploring chrome ores for more than 40 years in the Municipality of Andorinha, inland of the State of Bahia. This operation generates a large volume of rocks that are discarded and can be used as agricultural inputs, considering that silicate rocks with potential for remineralization and soil conditioning were included in the fertilizer law, and started to have specific regulations. This study aimed to characterize the petrology and chemistry of the discarding rocks of the Ipueira Mine in order to verify its agromineral potential. Chemical analyses identified the presence of macro and micronutrients; petrographic and X-Ray diffractometry confirmed the presence of minerals with the capacity to provide these nutrients, and the electron microscopy allowed to characterize the accessory mineralogy. The use of available rocks in discard piles of the mineral extractive industry adds sustainability and contributes to diminish the environmental impact. Despite the restrictions in the agricultural use of rocks rich in Cr-Ni, this research demonstrates that the potential of the rock tailings of the Ipueira chromium mine as acid correction agent and re-mineralizing of soils, which are source of the macronutrients Ca, Mg, K and micronutrients Fe, Mn, Si, B and Co, is promising. This possible reuse would bring a nobler destination to mining disposal materials, contributing to sustainable development in the region.

Keywords: Minerals for Agriculture; Mining Tails; Rocks for Crops



1 Introdução

A utilização do pó de rocha na forma de insumo agrícola para correção de acidez em solos é comumente relacionada ao emprego de rochas carbonáticas, utilizadas para calagem de solos no Brasil, desde o final da década de 60 (Wiethölter, 2000). Recentemente, o uso de rochas na agricultura foi diversificado com a inclusão de rochas silicáticas com potencial para remineralização e condicionamento de solos na Lei 12.890, de 10 de dezembro de 2013 dos fertilizantes no Brasil (Brasil, 2013). O país é um dos primeiros no mundo a regulamentar esta utilização.

Em contraposição aos adubos químicos, as rochas são consideradas fertilizantes de baixa solubilidade, ou seja, de liberação lenta, sendo que diversos tipos de rochas podem atuar como fontes multielementares de nutrientes (Martins *et al.*, 2010), embora sejam raras as litologias – tais como os kamafugitos – capazes de disponibilizar um conjunto maior de macronutrientes (Theodoro, 2000). Segundo Bergmann *et al.* (2014) o conhecimento detalhado da petrologia e química das rochas é essencial para a correta qualificação de um material agromineral, permitindo avaliar sua mineralogia, textura e granulação. As condições físico-químicas de formação ou as mudanças pelas quais passam os sistemas minerais, além de influenciar a liberação de nutrientes, podem auxiliar na fixação de nutrientes nos solos, enquanto suas propriedades reativas podem também proporcionar correção da acidez através da redução do pH, ao passo que determinados minerais têm capacidade de melhoria das condições estruturais dos solos (retenção de água e aeração).

As rochas máficas e ultramáficas apresentam capacidade para neutralizar a acidez do solo através do Poder de Neutralização (PN) de seus minerais magnesianos que se dá pela reação do ânion hidroxila (OH^-) com os cátions H^+ e Al^{3+} presentes em solos (Alcarde, 2005; Lopes *et al.*, 1990), sendo estas rochas também fontes remineralizadoras de (Mg), Ca e Si. 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 apresenta a caracterização química e mineralógica dos descartes da mineração de cromita da Mina Ipueira, visando identificar um possível agromineral remineralizador e condicionador de solos, com teores adequados de nutrientes e dentro dos limites legais quanto aos Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT). Para o presente trabalho foram empregados os parâmetros estabelecidos na instrução normativa para remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura (Instrução Normativa nº5, de 14 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA; Brasil, 2016).

2 Contexto Geológico

A Mina Ipueira, operada pela mineradora FERBASA CIA DE FERRO LIGAS DA BAHIA, constituiu uma das mais importantes reservas de cromo e de níquel do Estado da Bahia e apresenta vida média estimada em aproximadamente 80 anos (Queiroz, 2016). Esta mina está inserida no limite entre o Núcleo Serrinha (NSer, Mascarenhas, 1979) e o Cinturão Móvel Itabuna-Salvador-Curaçá (CISC, Barbosa & Sabaté, 2003a, 2003b). Na região da mineração há presença de dezenas de corpos máficos-ultramáficos de provável idade Paleoproterozoica (Oliveira *et al.*, 2004), que afloram em uma área de aproximadamente 70 km², com direção preferencial N-S, a leste da Serra de Itiúba (Figura 1). Estes múltiplos corpos máficos-ultramáficos hospedam mineralizações de cromita concentradas em níveis de cromitito maciço, em uma faixa conhecida como *Distrito Cromífero do Vale do Jacurici* (Deus *et al.*, 1982; Marques & Ferreira Filho, 2003).

Segundo Dias *et al.* (2014) não existe um consenso na bibliografia em relação à posição estratigráfica das rochas ultramáficas da região do Vale do Jacurici em relação às encaixantes, pois estas são consideradas intrusivas no Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (Barbosa & Sabaté, 2003a), ou nas sequências Arqueanas de médio grau de gnaisses-migmatíticos dos terrenos granito-*greenstone* do Núcleo Serrinha (Teixeira *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2004). As rochas máficas-ultramáficas da Mina Ipueira se encontram parcialmente encaixadas em rochas carbonáticas (mármore) do Complexo Santa Luz (Oli-

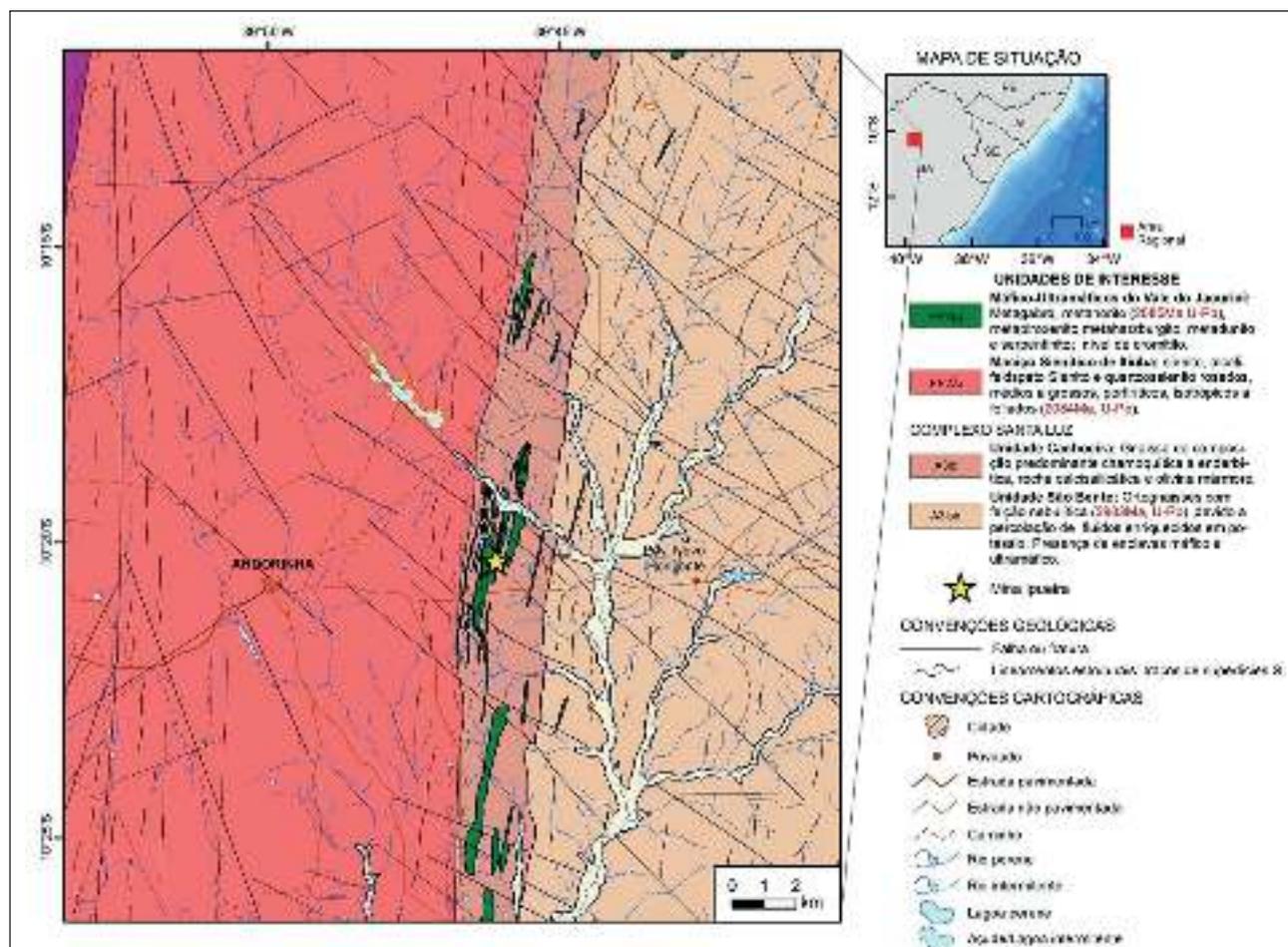


Figura 1 Mapa de localização da Mina Ipueira (13 km de distância do Município de Andorinha-BA), com geologia regional simplificada. Base geológica CPRM: Oliveira, 2016.

veira, 2016), de idade Arqueana (3102 ± 5 Ma, Rios *et al.*, 2009).

Na região do Vale do Jacurici, Oliveira *et al.* (2004) obtiveram através de datações U-Pb_{Zr} SHRIMP idade de 2085 ± 5 Ma em um norito (área de Medrado), enquanto Silveira *et al.* (2015) obtiveram idade de 2102 ± 5 Ma (U-Pb_{Zr}) para um metagabronorito (Cava Riachão I). Contudo, Rios *et al.* (2009) sugerem que as idades Paleoproterozoicas em rochas máficas-ultramáficas do Núcleo Serrinha (ex. anfibolito NS1662, 2078 ± 2 Ma ID-TIMS_{Zr}) representam cristais de zircão metamórficos, provenientes do evento termal associado com a colocação de K-granitos, sienitos e lamprófiros (2,07-2,11Ga, Rios *et al.*, 2009).

No Distrito Cromitífero Vale do Jacurici a Mina de Ipueira está inserida no *sill* Ipueira-Medra-

do (Deus *et al.*, 1982), o maior corpo máfico-ultramáfico conhecido até então, ocorre como uma dobra sinforme, e a ele se atribui uma possível contaminação crustal (Marques, 2001; Marques *et al.*, 2003). A operação da lava é subterrânea e envolve rochas carbonáticas e máficas-ultramáficas que encaixam lentes de “Lump” – minério de cromitito maciço com teores de Cr₂O₃ em torno de 38%. Esta atividade gera uma grande quantidade de descarte de rochas, o qual, em valores estimados com base na observação de campo, é composto por aproximadamente 70% de rochas ultramáficas e 30% de rochas carbonáticas (Figura 2A, B, C e D).

3 Materiais e Métodos

A caracterização do potencial agromineral dos descartes da lava de cromita da Mina Ipueira como

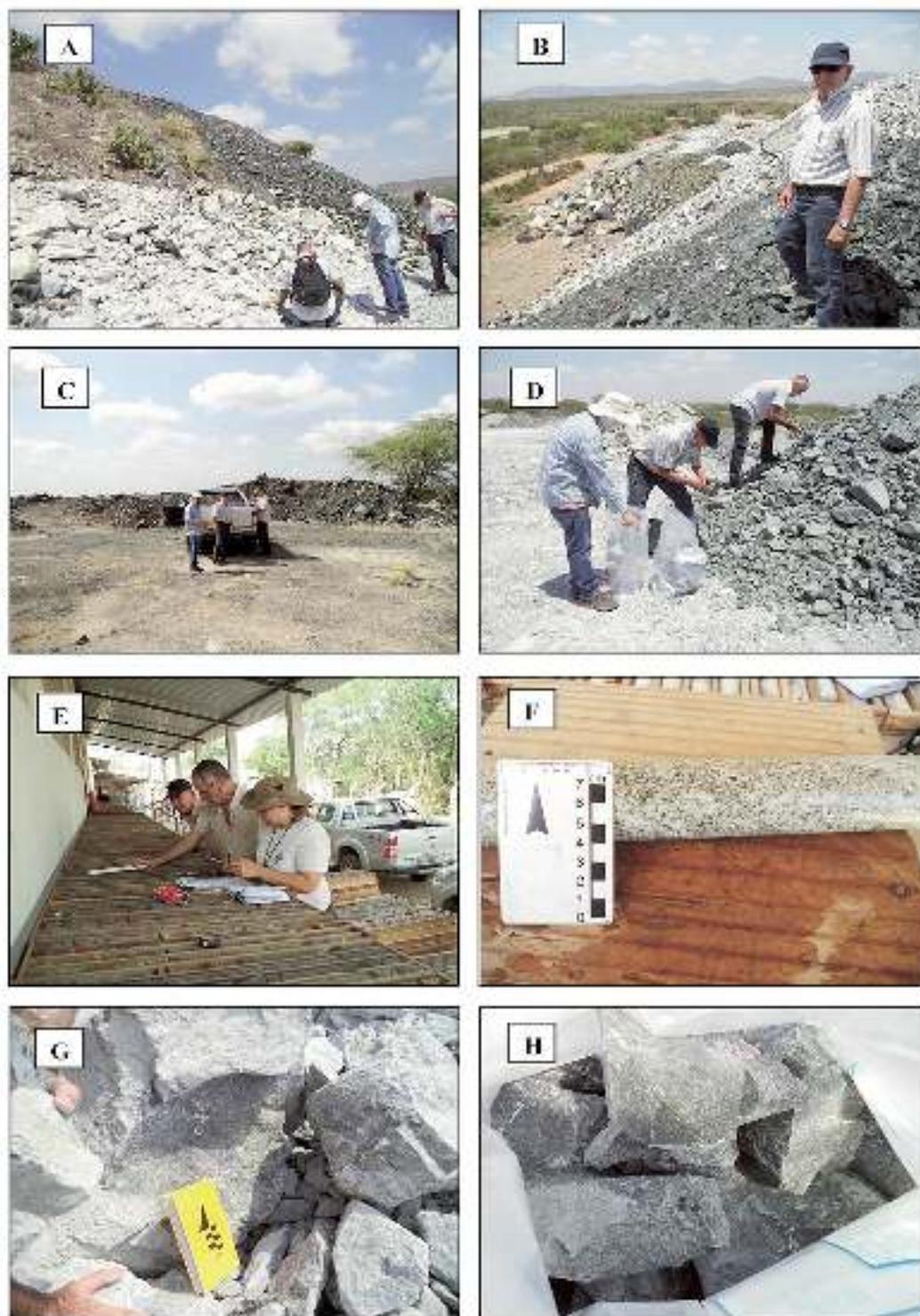


Figura 2 Fotografias de campo na Mina Ipueira. A. Pilha de descarte A, UTM 415699 e 8854509; B. Pilha de descarte C (UTM 416315 e 8856371); C. Pilha de descarte D – UTM 416512 e 8856576 – com presença de algaroba demonstrando o estágio da cobertura vegetal; D. Pilha de descarte B – UTM 415926 e 8855570 – ativa, onde ocorreu a coleta do material para o mix; (E) Seleção dos furos a serem estudados. Descrição das amostras selecionadas em campo; (F) Seleção e coleta de amostras de serpentina-mármore. Amostras para ensaios de incubação com solos na Embrapa; G. rochas carbonáticas – mármore; H. Serpentinóis.

fonte de nutrientes e correção de acidez solos contou com trabalhos de identificação e descrição de 39 (trinta e nove) amostras (3282 a 3306, Furo 679 90°; 3307 a 3324 e 3339 a 3342, Furo 727 90°) de diversos litotipos. Os perfis geológicos onde se localizam os furos amostrados situam-se na área de Ipueira VI (Figura 3), parte sul da mina, correspondendo a dois furos de sondagem verticalizados (Figura 2E, F), os quais foram escolhidos de forma a serem representativos das rochas predominantes no descarte.

Adicionalmente, cerca de 40 (quarenta) quilos de amostras de descarte foram coletadas diretamente em uma das pilhas visitadas, visando os ensaios de incubação em solo. Os fragmentos das rochas presentes na pilha foram, em campo, descritos e agrupados como “mármore” (3343B, Figura 2G) ou “serpentinitos” (3343A, Figura 2H).

Ainda em campo, foi realizado um inventário quali-quantitativo em quatro (4) pilhas de descartes (A, B, C, D) considerando as proporções estimadas dos dois principais grupos de rochas presentes: (i) máficas-ultramáficas e (ii) carbonáticas. Estes dados, acrescidos do levantamento topográfico das pilhas de descarte, foram utilizados para cálculo da estimativa percentual e de reservas em cada uma das pilhas analisadas.

Nos laboratórios do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Superintendência Salvador, foram confeccionadas lâminas polido-delgadas e cominuição das amostras em britador de mandíbulas de aço Fe-Mn e moagem a <200 *mesh* em moinho (*shatter-box*) de painéis de carbetto de tungstênio. Visando ensaios de incubação foram produzidas duas amostras distintas (3343 A e 3343B), de pó de *mix* de serpentinito e *mix* de mármore, respectivamente.

A petrografia modal permitiu a seleção de quinze (15) amostras das principais litologias para análises mineralógicas por Difractometria de Raios-X (DRX, Laboratório de Durabilidade dos Materiais, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia - UFBA). Estas análises foram realizadas em um difratômetro D2 Phaser da Bruker com tubo de alvo de cobre (comprimento de onda, λ , igual a 0,154060 nm), corrente de 10 mA, e tensão de 30 KV. Os ensaios foram realizados com a varredura de 5° a 65° (2 θ) e incremento de 0,024°/segundo.

Para a identificação das fases cristalinas foi utilizado o software DIFFRAC plus-EVA. Sua semi-quantificação foi feita através do método de refinamento Rietveld (McCusker *et al.*, 1999), por meio do software DIFFRAC SUITE-TOPAS que utiliza o banco de dados *Crystallography Information File* (CIF), do sistema *Crystallography Open Database* (COD, 2017).

Outras seis (6) amostras (3284, metaultramáfica flogopitizada; 3294, olivina -flogopita-magnetita-apatita-serpentina mármore; 3303, olivina serpentina mármore; 3314, serpentinito; 3322, metapiroxenito e 3340, metanorito flogopitizado) foram selecionadas para estudos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nos Laboratórios Multiusuários da Universidade Federal de Sergipe (UFS), sendo efetuada análises semi-quantitativas de composições minerais específicas e imageamento, com o uso do microscópio eletrônico da marca Tescan®, modelo Vega 3-LMU, acoplado a detectores de elétrons secundários (SE), elétrons retroespalhados (BSE) e catodoluminescência (CL).

Todas as amostras descritas na petrografia foram analisadas por Fluorescência de Raios-X (FRX/EDX, elementos maiores e alguns traços) nos Laboratórios Multiusuários do Instituto de Química da UFBA. Detalhes sobre os procedimentos utilizados estão descritos em Blakowski (2018). Apesar da menor precisão analítica associada a esta metodologia ela foi útil para balizar a pesquisa principalmente no que diz respeito aos elementos maiores e à seleção das amostras para detalhamento químico.

Análises litoquímicas por Espectrometria de Plasma de Indutivamente Acoplado à Emissão Ótica (ICP-OES, elementos maiores e menores), Plasma Indutivamente Acoplado à Espectrometria de Massa (ICP-MS, elementos traços) foram realizadas nos Laboratórios SGS- Geosol Ltda, em 16 das amostras estudadas, incluindo-se as duas amostras do *mix* de rochas do descarte (3343A e 3343B). Foram utilizados dois tipos de métodos para a abertura das amostras: ICM 14B (Determinação por Digestão com Água Régia) e ICP 95A (Determinação por Fusão com Metaborato de Lítio). Esta escolha levou em consideração os limites da atual legislação – MAPA

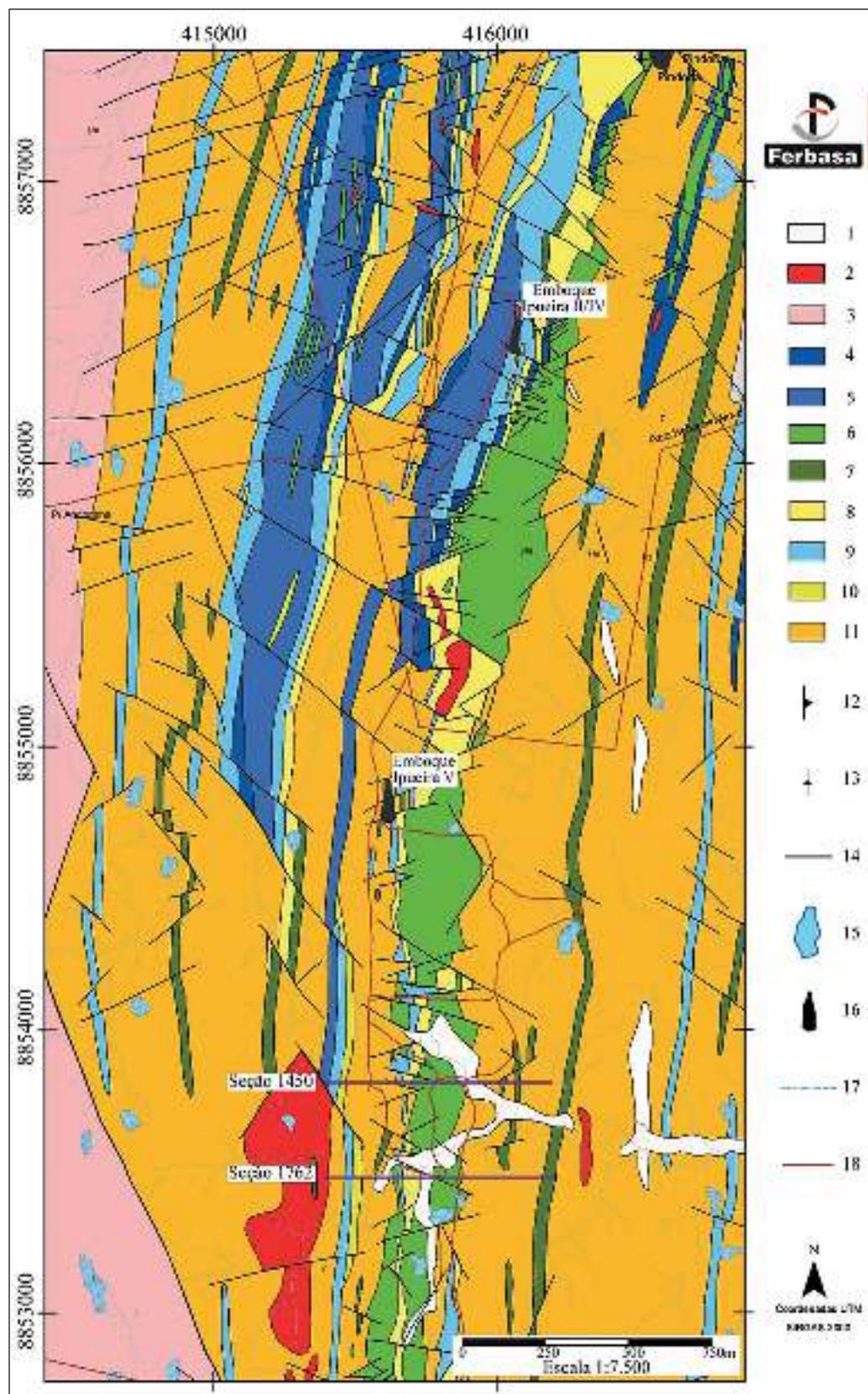


Figura 3 Mapa Geológico de semi-detahle da Mina de Ipueira, com seções onde foram descritos os furos de sondagem representativos das rochas de descarte, na área de Ipueira VI. Seção 1450 (Furo 727 90° com predominância de rochas ultramáficas) e Seção 1762 (Furo 679 90° com predominância de rochas carbonáticas). *Base geológica: FERBASA (2017)*. Convenções: (1) Aluvião, (2) Granitóides, (3) Sienito, (4) Gabro, (5) Piroxenito, (6) Serpentinito, (7) Anfíbolito, (8) Mármore, (9) Diopsidito, (10) Metachert, (11) Gnaiss Bandado, (12) Atitude de foliação com mergulho, (13) Atitude de foliação, (14) Falha, (15) Lagoa, (16) Emboque, (17) Drenagens, (18) Estradas.

IN 05/2016 (Brasil, 2016) para EPT, tendo em vista que alguns teores restringidos são muito baixos, como no caso do mercúrio cuja leitura com precisão adequada só foi possível utilizando-se o método ICM 14B.

4 Critérios Químicos para Remineralizadores de Solos

Com a viabilização do uso de rochas cominuídas como insumo para agricultura na atual legislação brasileira, foram estabelecidos parâmetros e limites de conteúdo – mínimos e/ou máximos – de nutrientes, minerais inertes e Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) nestes novos produtos.

Os macronutrientes – P, K, S, Ca, Mg e N (este último não tem fonte em rochas) – são fundamentais para o metabolismo e desenvolvimento das plantas e absorvidos por estas em maior quantidade. Pela IN 05/2016 (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016) a Soma de Bases (SB) é determinada pela soma dos óxidos $\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO}$ e representa um importante critério químico na avaliação dos macronutrientes em um agromineral, devendo apresentar valor $\geq 9\%$ em peso na rocha, e onde K_2O deve ser $\geq 1\%$.

Os micronutrientes – essenciais: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e benéficos: Co, Ni, Se, Si – embora necessários para o desenvolvimento das plantas, precisam estar disponíveis, mas não necessitam de teores muito elevados, pois a absorção de quantidades relativamente pequenas (miligramas a microgramas) já é suficiente para o desempenho de atividades metabólicas específicas das plantas. A presença dos micronutrientes nos remineralizadores de solos é desejável, mas não obrigatória. Pela atual legislação (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016), para que a presença destes elementos seja declarada no rótulo do produto, eles devem apresentar teores mínimos (em porcentagem peso/peso). A norma estabelece estes valores mínimos limítrofes como: Fósforo ($\text{P}_2\text{O}_5 > 1\%$); Cl, Fe, Mn e Zn ($> 0,1\%$); B e Se ($> 0,03\%$); Cu e Si ($> 0,05\%$); e Co, Mo e Ni ($> 0,005\%$).

4.1 Benefícios da Adição de Micronutrientes no Sistema Solo-Planta

Segundo Van Straaten (2007) o micronutriente ferro tem funções importantes nas plantas, como

na constituição de cloroplastos, essenciais para fotossíntese, além da leg-hemoglobina, que é uma hemoproteína responsável pela fixação de nitrogênio. O cobalto é necessário para a síntese da cobalamina (Vitamina B_{12}), que também participa dos passos metabólicos para a formação da leg-hemoglobina (Favarin e Marini, 2000), além de aumentar o crescimento das raízes, e em conjunto com o molibdênio compõem micronutrientes importantes para o cultivo de soja já que estes auxiliam no processo de fixação simbiótica do nitrogênio (Dourado Neto *et al.*, 2012).

Outros micronutrientes com funções importantes para as plantas são: o boro, que auxilia nas divisões celulares, polinização, formação das paredes celulares, e translocação de açúcar; o cobre, que auxilia na formação das enzimas, metabolismo e fixação do nitrogênio; o manganês, que controla a variação do sistema de oxidação-redução e formação de O_2 na fotossíntese; e o zinco, que auxilia na produção de enzimas, hormônios de crescimento, amido e na formação de sementes (Van Straaten, 2007).

Já o uso do silício na adubação tem efeitos benéficos para as plantas, como aumento da produtividade e na resistência ao ataque de pragas e doenças, além da redução dos efeitos do excesso de metais potencialmente tóxicos, do estresse salino e da deficiência hídrica (Rodrigues *et al.*, 2011).

5 Ensaio Petrográficos

Os ensaios petrográficos são parte fundamental da avaliação do potencial agromineral em processos de rochagem (Bergman *et al.*, 2014). Embora a litoquímica aponte quais os elementos presentes nos litotipos, é a petrografia que indica em quais minerais estes elementos estão alocados, e qual o desempenho de cada uma destas fases na liberação de elementos químicos ao sistema solo-planta. Estas questões são dependentes das texturas, relações de contatos entre as fases, e mineralogia de alteração hidrotermal presentes na rocha.

As diversas fases minerais identificadas pela análise petrográfica nas amostras de descarte da Mina Ipueira permitem observar suas relações de contato e feições de alteração (Figura 4). A petro-

grafia também permite determinar se a SiO_2 livre (quartzo) está dentro dos critérios estabelecidos pela norma para remineralizadores de solos – MAPA IN 05/2016 (Brasil, 2016). Esta estabelece um limite máximo de 25% SiO_2 livre no produto comercializado, embora o quartzo não seja um mineral essencial na afiliação de rochas máficas-ultramáficas ou nos carbonatos presentes nas pilhas de descartes. Cabe ressaltar que, caso minerais inertes sejam adicionados ao solo em grandes quantidades e/ou em doses repetidas, podem atingir uma concentração indesejada ao longo do tempo, ocupando o espaço de minerais úteis (Blaskowski, *et al.*, 2016).

Os estudos petrográficos permitiram agrupar as rochas da Mina Ipueira em três categorias principais: (i) máficas-ultramáficas, incluindo: serpentinitos, metahazburgitos, metapiroxenitos e metanoritos; (ii) carbonáticas, incluindo mármore com: serpentina, serpentina e apatita, apatita, apatita-serpentina-flogopita, olivina-serpentina, olivina-serpentina-flogopita, e flogopita-magnetita-olivina-apatita-serpentina, além de mármore puro; e (iii) enclaves ultramáficos (diopsidito, flogopititos, metapiroxenitos e metagabros), os quais são rochas ultramáficas que não pertencem ao *sill* (categoria máficas-ultramáficas) mas ocorrem intercaladas nas rochas carbonáticas (categoria ii). A nomenclatura modal de cada um dos litotipos é apresentada na Tabela 1.

As análises modais foram confirmadas pela DRX tanto em termos qualitativos quanto quantitativos (Tabela 2). Tais estudos demonstraram que a presença de serpentina [$(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], um filossilicato hidratado de magnésio e ferro, é abundante nas rochas de descarte coletadas na Mina Ipueira.

Com exceção dos metanoritos, a maioria das rochas máficas-ultramáficas, apresenta elevadas quantidades (50-80%) de serpentina. Nas rochas carbonáticas o percentual também é significativo, chegando a atingir 20% na amostra de serpentina mármore (3282). Nos dois distintos grupos litológicos foi identificada pelo DRX como variedade de serpentina apenas o mineral lizardita (Tabela 2).

Nas rochas máficas-ultramáficas também foi identificada a presença significativa de forsterita (fonte de Mg-Fe e material com potencial para cor-

reção de acidez em solos), flogopita e biotita (fontes de Mg, Fe e K), diopsídio (fonte de Ca, Mg e Si), enstatita (fonte de Mg, Fe e Si), anortita (fonte de Ca e Si), e minerais do grupo do espinélio (magnesioferrita e Cr-magnetita) que são considerados resistentes. Nas rochas carbonáticas as análises permitiram ainda reportar a presença significativa de minerais como: dolomita (fonte de Ca, Mg e correção de acidez), serpentina, flogopita, biotita, magnetita e apatita-fluorapatita (este último mineral com elevados teores de P, além de Ca e Cl, mas com disponibilização ainda a ser discutida). Nos enclaves presentes nestas rochas carbonáticas, foram observados flogopita, serpentina, dolomita, apatita-fluorapatita, espinélio, diopsídio, enstatita e anortita. Outros importantes minerais fontes de nutrientes para agricultura, porém em menores quantidades, incluem calcita (fonte de Ca e correção de acidez em solos), siderita (Fe), otavita – carbonato de cádmio, hiperstênio (Mg, Fe e Si), aegirina (Si e Fe) e hornblenda (Ca, Mg e Fe).

Minerais que não são considerados fonte de nutrientes incluem grafita e moscovita (cuja abertura cristalina pelo intemperismo é difícil), além de minerais resistentes, cuja solubilidade é reduzida, sendo minerais resistentes ao intemperismo e, por este motivo, considerados indesejáveis.

Estão incluídos nesta categoria os minerais do grupo do espinélio (magnesioferrita-magnetita-cromita), cuja composição modal nas rochas estudadas está abaixo de 10%, e pequenas quantidades de quartzo (identificado pelo DRX e em apenas duas amostras, Tabela 1). Ocorrem também quantidades pouco significativas de barita (identificada apenas no MEV), minerais sulfetados- piritita (fonte de S e de Fe), pentlandita (fonte de S e de Ni) e esfalerita (fonte de S e Zn, identificada apenas no MEV).

6 Ensaios Litoquímicos

As análises químicas realizadas buscaram identificar no descarte de mineração a presença de macro e micronutrientes. Os parâmetros atuais para considerar um remineralizador de solos, adequado ao fornecimento de nutrientes essenciais para o solo são estabelecidos pela Instrução Normativa para Remineralizadores de solos (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016).

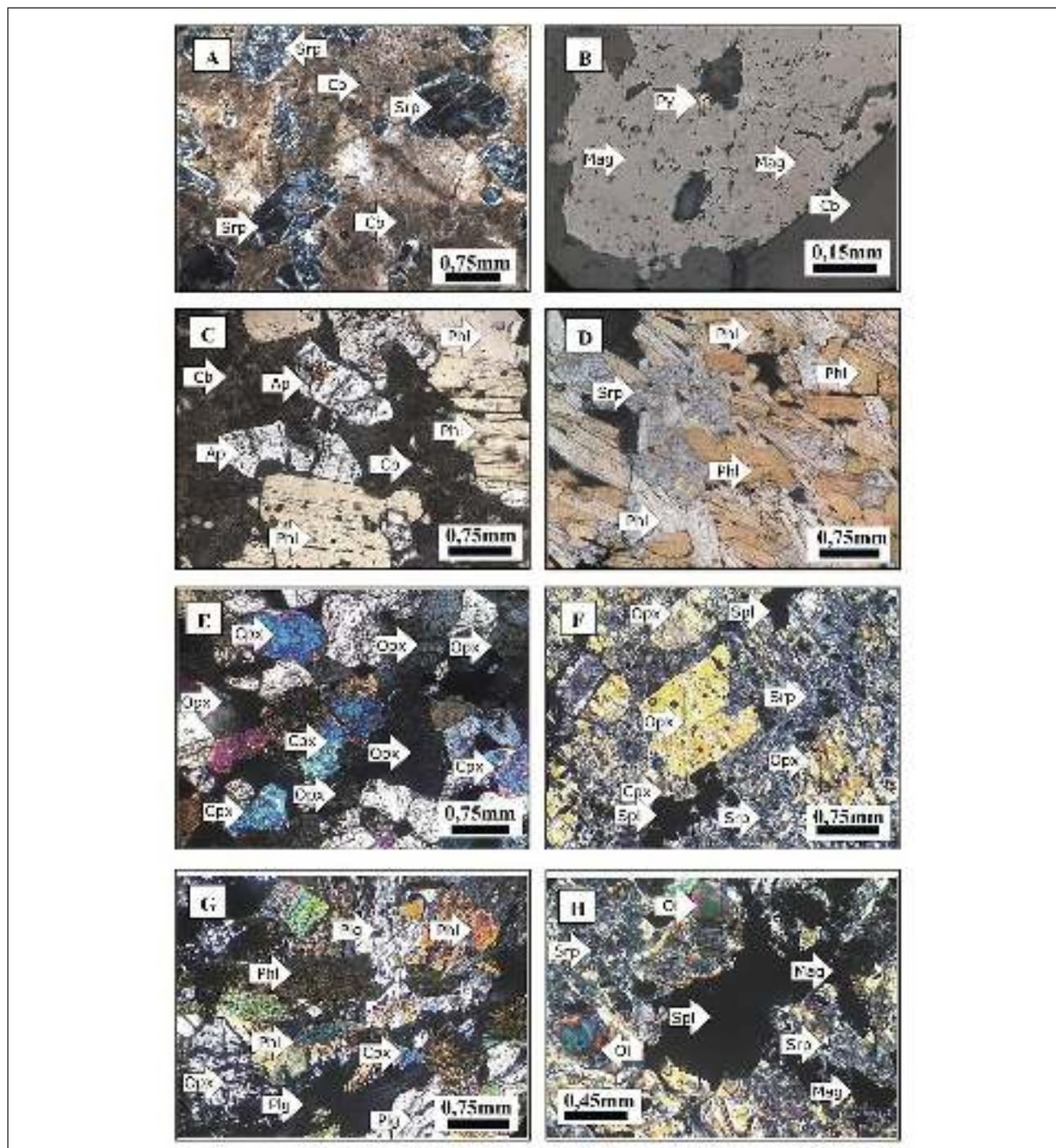


Figura 4 Fotomicrografias dos diferentes litotipos coletados nos furos de sondagem representativos do descarte da Mina Ipeuira. A. olivina-serpentina mármore (amostra 3301) mostrando minerais de serpentina (Srp) preenchendo pseudomorfos de olivina e dolomita (Cb). B. Imagem em luz refletida evidenciando magnetita (Mag) com feições de processo de *martitização-oxidação*, *detalhe de inclusão de pirita* (amostra 3294). C. Apatita e flogopita em meio à dolomita (amostra 3283). (D) Porção flogopitizada (Phl) com serpentina intersticial (amostra 3284) E. Metapiroxenito (amostra 3322) com cristais de clino e ortopiroxênio. F. Metahazburgito (amostra 3315) com serpentinização do ortopiroxênio. G. Metanorito flogopitizado do topo da sequência do Sill Ipeuira-Medrado (amostra 3339) mostrando relações de contato entre flogopita, plagioclásio cálcico, clino e ortopiroxênio. H. Serpentinito (amostra 3314) com resquícios de olivina alterada em meio às serpentinas, minerais do grupo do espinélio. Py = pirita, Ol = olivina, Srp = serpentina, Plg = plagioclásio, Phl = flogopita, Cpx = clinopiroxênio, Opx = ortopiroxênio, Mag = magnetita, Cb = carbonato, Spl = espinélio, Ap = apatita.

Potencial Agromineral das Rochas de Descarte da Mina de Cromita Ipeueira, Bahia
Alessandra Elisa Blaskowski; Débora Correia Rios; Herbet Conceição & Bruna Bueno Mariani

				Análise Petrográfica / Composição Modal (%)														
Coleta	Categoria Amostra	Profundidade da Coleta (m)	Classificação Petrográfica	Carbonato	Serpentina	Olivina	Flogopita	Apatita	Ortopiroxênio	Clinoiroxênio	Hornblenda	Episódio	Magnetita	Plagioclásio	Pirita	Talco	Miçeróis Opacos	
Furo 679 90° (UTM 415891000;8853473821)	C 3282	33,35 - 33,60	Serpentina Mármore	80	20	TR											TR	
	C 3283	41,69 - 41,96	Srp-Ap-mármore	92	3			5										TR
	E 3284	41,69 - 41,96	Metultramáfica flogopitizada/flogopitita		3	2	90	5	TR									
	C 3285	49,20 - 49,50	Ap-Srp-Phl-mármore	47	15		35	3										TR
	C 3288	56,65 - 56,85	OI-Srp-mármore	85	15	TR												
	E 3289	64,60 - 64,80	Metagabro		25	30	TR			10				35				
	C 3290	85,60 - 85,85	OI-Srp-Phl-mármore	55	20	TR	25											
	C 3292	101,10 - 101,35	Mármore	100	TR													
	E 3293	101,10 - 101,35	Zona de alteração (flogopitita)		15		85											
	C 3294	108,70 - 109,0	OI-Phl-Mag-Ap-Srp-mármore	35	40	TR	6	8					10		TR	TR	1	
	E 3296	119,90 - 120,00	Metultramáfica flogopitizada	5	20	5	68	2										
	C 3297	139,40 - 139,60	Serpentina mármore	60	40	TR												
	E 3298	161,53 - 161,75	Diopsidito	15					2	83								TR
	C 3299	178,50 - 178,70	OI-Srp-mármore	55	45	TR												
	E 3300	205,80 - 206,0	Metultramáfica flogopitizada	10	20		70											
	C 3301	213,90 - 213,10	OI-Srp-mármore	55	45	TR												
	E 3302	224,70 - 224,90	Metultramáfica flogopitizada	10	20	TR	65	5										
	C 3303	246,45 - 246,65	OI-Srp-mármore	70	30	TR						TR	TR					TR
E 3304	246,45 - 246,65	Metapiroxenito		14	TR			70	8		8							
E 3305	246,45 - 246,65	Metapiroxenito		12	TR			60	8	10	10							
E 3306	246,45 - 246,65	Metagabro flogopitizado	5		75									20				
Furo 727 90° (UTM 415926000;8855570440)	M 3307	36,85 - 37,05	OI-Serpentinito		80	10			5			5						TR
	M 3308	45,55 - 46,0	Metahabburgito		55				43			2						TR
	M 3309	50,55 - 50,75	Serpentinito		96							2	2					TR
	M 3310	57,50 - 57,70	Serpentinito		88							2	10					TR
	M 3311	74,40 - 74,60	Serpentinito		95							TR	5					TR
	M 3312	87,05 - 87,25	Serpentinito		95							TR	5					TR
	M 3313	101,80 - 102,0	Serpentinito		80	15						2	3					TR
	M 3314	115,90 - 116,10	Serpentinito		80	12						TR	8					TR
	M 3315	147,50 - 147,70	Metultramáfica serpentinitizada (metahabburgito)	5	70				22			TR	3					TR
	M 3320	187,0 - 187,20	Metahabburgito		60	5			30			5						
	M 3321	206,60 - 206,80	Metultramáfica (metapiroxenito)		50	TR			45			5	TR					TR
	M 3322	232,90 - 233,0	Metapiroxenito		5				70	15		8	2					
	M 3323	233,70 - 234,0	Metapiroxenito		5				72	10		10	3					
	M 3324	241,80 - 242,20	Metamáfica flogopitizada (metanorito?)				60								40			
	M 3339	248,15 - 248,65	Metanorito flogopitizado				25		30	10	10			25				
	M 3340	256,90 - 257,20	Metanorito flogopitizado				25		15	15	5			40				
	M 3341	259,20 - 259,40	Metanorito flogopitizado		8		14		60			8		10				
	M 3342	264,0 - 264,40	Serpentina mármore	80	20	TR												

Tabela 1 Composição modal e classificação das amostras estudadas. TR = traços (<1%), Srp = Serpentina, OI = Olivina, Ap = Apatita, Mag = Magnetita, Phl = Flogopita.

Potencial Agromineral das Rochas de Descarte da Mina de Cromita Ipeueira, Bahia
Alessandra Elisa Blaskowski; Débora Correia Rios; Herbet Conceição & Bruna Bueno Mariani

Cabeça	Análise	Descrição / Classificação Petrográfica	Mineral	Macronutrientes					Micronutrientes (% em peso seco)								EPT			SB				
				CaO%	K ₂ O%	MgO%	FeO%	SiO ₂ %	B	Co	Cr	P	Mn	W	Zn	Cu	Ni	Cl/PPM	Hg/PPM		Pb/PPM			
Para 675 pp UTM: 415944000000000000	2282	Sr-Máficose	ICP	24,25	2,5				0,016	0,031		2,592	0,16	4,911			0,031	3,201	0,150	1,4	48			
	2288	Sr-Máficose	ICP	31,25	3,1	3,17	1,38		0,016	0,031		1,46	0,15	3,95	1,00		0,031	1,70	0,150	1,3	51			
	2294	Maficocarbonática flogopitizada/flogopítica	ICP	7,34	4,81	24,41	3,27	3,31	0,014	0,031		1,36	0,25	5,25	3,00		0,031	3,12	0,140	1,7	39			
	2295	Ap-Sp-Pl-carbonato	FRX	36,51	1,7	14,17	2,40	4,35				4,17	1,31	2,10	1,62							49		
	2295	Zona de abração máfica (andesítica)	FRX	2,27	0,46	22,80	0,37					2,43	0,32	11,23								27		
	2297	Zona de alteração máfica (verde escuro-carbonato)	FRX	3,43	0,44	11,07	1,9	3,31				2,1	0,23	1,15	3,12							29		
	2298	Ol-Serpentinosa	FRX	25,55		25,81						1,52	0,25	4,157	3,12							21		
	2299	Maficocarbonato	FRX	4,55	1,59	15,50	1,30	3,11				3,13	0,24	1,59	2,81							24		
	2299	Ol-Sp-Hidroxidada	FRX	27,29	0,37	22,84		3,31				1,58	0,22	3,03	3,11							47		
	2299	Zona de abração máfica	FRX	4,23	4,55	22,80		3,31				1,524	0,220	2,118	3,12							22		
	2299	Maficose	ICP	27,33	0,43	22,25	1,35	3,31				1,06	0,031	3,12	0,25	2,31	1,70	1,00	1,00	0,031	3,00	0,150	1,3	53
	2299	Zona de alteração (flogopítica)	ICP	0,41	4,87	25,64	2,35	3,31				1,250	0,031	3,25	4,4	0,25	9,25	3,00	1,17	0,031		0,150	1,5	27
	2299	Ol-Pl-Msp-Pl-Sp- Serpentina	ICP	18,53	0,7	14,25	2,1	3,31				1,50	0,031	1,30	1,60	0,27	7,25	3,00		0,031	3,00	0,150	1,5	43
	2299	Maficocarbonato	FRX	36,57	0,39	22,81	2,30	3,31				3,04	0,44	0,20	3,63	3,12							51	
	2299	Maficocarbonática flogopitizada	FRX	3,55	4,88	25,81	1,2	3,31				1,38	0,32	2,223	3,12	3,33							23	
	2299	Serpentinosa	FRX	17,43		14,53		3,31				1,79		2,903									12	
	2299	Dioptásida	ICP	22,21	0,31	18,21	0,37					0,031	0,031	3,30	1,30	0,18	24,95	3,00		0,031	3,20	0,150	1,2	45
	2299	Ol-Serpentinosa	FRX	4,81		11,75		3,31				1,45	0,15	9,31			3,00						19	
	2299	Maficocarbonática flogopitizada	FRX	1,49	2,21	28,59		3,31				1,06	0,220	1,548									40	
	2299	Ol-Serpentinosa	FRX	2,55	0,57	13,43		3,31				1,13	0,15	9,65									47	
	2299	Maficocarbonática flogopitizada	FRX	14,59	0,21	21,81		3,31				1,72	0,25	1,227									40	
	2299	Ol-Serpentinosa	FRX	3,51		11,63		3,31				1,15	0,271	2,38			3,00						45	
	2299	Maficocarbonato	ICP	2,72	0,13	27,55		3,31				0,031	0,031	3,30	1,15	21,25	3,00	1,74	0,031	3,00	0,150	1,7	23	
2299	Maficocarbonato	FRX	1,65	1,1	12,31		3,31				1,64	0,15	9,33			1,73	0,60					24		
2299	Maficocarbonato flogopitizado	ICP	2,19	4,25	12,49		3,31				0,031	0,031	3,30	1,14	0,12	3,00	0,150					25		
Para 727 pp UTM: 415920000000000000	3307	Ol-serpentinosa	ICP	3,88	0,06	33,00	0,03	0,03				3,30	0,11		4,30	0,03	18,31	0,004	0,25	1,10		0,150	1,7	31
	3308	Nickelcarbonato	FRX	1,12		34,46		0,02				3,12	0,10	19,03			3,10	1,15					35	
	3309	Serpentinosa	FRX	0,15		33,07		0,11				6,23	0,14	19,23			3,45	1,02					37	
	3310	Serpentinosa	FRX	0,85		33,82		0,05				8,72	0,11	16,05			3,73	1,10					31	
	3311	Serpentinosa	FRX			37,35		0,12				4,14	0,10	11,05			3,64	1,28					37	
	3312	Serpentinosa	FRX			33,57		0,11				6,23	0,02	19,23			3,85	1,10					40	
	3313	Serpentinosa	FRX	0,75		37,30		0,07				5,31	0,11	18,15			3,68	1,18					38	
	3314	Serpentinosa	FRX			34,41		0,08				4,08	0,10	16,15			3,45	1,22					35	
	3315	Maficocarbonática serpentinosa (nickelcarbonato)	FRX	0,48		34,48		0,02				6,07	0,12	18,05			3,78	1,24					27	
	3320	Nickelcarbonato	ICP	0,82	0,06	33,00		0,02				3,12	0,10	0,031	1,10	19,23	0,005	3,82	1,10			1,8	31	
	3321	Nickelcarbonato (nickelcarbonato)	FRX	1,14		33,45		0,01				9,06	0,15	16,31			4,14	1,10					31	
	3323	Maficocarbonato	ICP	5,32	1,31	18,30		0,08				3,12	0,07	0,031	1,10	19,23	0,012	1,10	1,10			0,150	1,2	25
	3323	Nickelcarbonato	FRX	4,32	0,22	25,28		0,02				6,02	0,12	20,63			3,82	1,02					21	
3324	Maficocarbonática flogopitizada (nickelcarbonato)	ICP	3,01	0,12	22,74		0,01				3,04	0,09	0,031	1,10	19,23	0,002	0,031	1,10			0,031	0,150	1,3	22
3329	Maficocarbonato flogopitizado	FRX	5,43	0,26	17,40						5,15	0,08	19,63	0,004	0,00	1,10	1,10					27		
3340	Nickelcarbonato flogopitizado	ICP	5,79	0,41	11,27		0,02				0,30	0,06	0,031	1,10	19,23	0,007	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,150	1,1	25
3341	Nickelcarbonato flogopitizado	FRX	10,36	1,08	17,32		0,07				4,03	0,02	20,15			3,72	1,28					26		
3342	Serpentinosa	FRX	45,30	0,16	23,72		0,08				0,031	0,06	0,031			0,008							81	
Região	3343a	Área de serpentinosa	ICP	3,08	0,05	35,0		0,1				3,39	0,11		2,38	0,14	16,45	0,005	0,35	1,20			1,8	23
	3343b	Área de máficose	ICP	25,11	0,51	21,12	0,17	0,03				3,18	0,10	1,02	0,10	19,07	0,005	0,01	1,00			0,004	1,8	42
ROCHA EM ESTUDO	TEUA LIMITEIPE MINIMO			1,00		1,00					0,10	0,00	0,10	1,00	0,00	0,10	1,12	1,00					9	
	TEUA LIMITEIPE MAXIMO																	10,00	0,10	10,00				

Tabela 3 Análises litoquímicas para elementos maiores e menores das rochas máficas-ultramáficas e carbonáticas estudadas. Inclui parâmetros avaliativos do potencial agromineral com teores de macro e micronutrientes, de SB (Soma de Base) e de EPT (Elementos Potencialmente Tóxicos). Srp = Serpentina, Ap = Apatita, Pl = Flogopita, Ol = Olivina.

atual legislação (mínimo de 1,0%), sendo creditados à presença dos minerais apatita e fluorapatita.

Dentre as rochas máficas-ultramáficas nota-se intensa flogopitização nos metanoritos, que também afetou alguns metapiroxenitos. Isto proporcionou teores acima de 1,0 % de K_2O (até 3,73% na amostra 3324, metanorito flogopitizado) em algumas rochas do topo da sequência do *Sill* Ipueira-Medrado. No pacote de rochas carbonáticas apenas os enclaves ultramáficos apresentam teores mínimos de K_2O exigidos para remineralizadores de solos, ou seja, superiores a 1,0% (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016). Estes enclaves ultramáficos – e.g. descritos no Furo I-679 90° – sofreram intensa flogopitização (3296, 3300, 3302, 3289 e 3306). Em alguns casos, neste mesmo furo, a flogopitização foi tão intensa que caracterizou litotipos de flogopitito (rochas com mais de 80% de flogopita), com teores de K_2O acima de 6% (amostras 3284 e 3293).

6.2 Micronutrientes

Vários micronutrientes foram identificados nas amostras estudadas (Tabela 3). Eles possuem funções distintas que potencializam o uso deste descarte como agrominerais. Todos os elementos micronutrientes propostos pela norma – exceto o cloro por ser volátil – foram dosados por ICP-OES ou FRX (?), contudo Mo e Se ocorrem abaixo dos valores que permitem a declaração no rótulo de remineralizadores de solo e não aparecem na tabela 3.

Os teores observados de ferro (4,015 a 9,132% nas ultramáficas; 0,168 a 1,665% nos carbonatos; 0,301 a 9,680% nos enclaves; Tabela 3) encontram-se bem acima dos mínimos declaráveis (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016) em todos os grupos de amostras analisadas, sendo o mais abundante dos micronutrientes presentes. A maioria das amostras apresentou teores de manganês declaráveis (ultramáficas: 0,102-0,152%; carbonatos: 0,101-0,178%; enclaves: 0,108-0,128%; Tabela 3) e silício (ultramáficas: 16,676 a 22,613%; carbonatos: 0,355 a 9,405%; enclaves: 11,406 a 24,368%; Tabela 3).

Além dos elevados teores de Fe, Mn, e Si, outros micronutrientes foram observados nos grupos de rochas que compõe o descarte da Mina Ipueira. Nos

serpentinitos existem também valores declaráveis de boro (~0,093% no *mix*) e de cobalto (~0,011% no *mix* e de >0,006 nas ultramáficas em geral, Tabela 3). Nas carbonáticas chama a atenção em especial o B que apresenta teores de 0,032% na amostra de mármore 3294. Apenas a amostra do enclave de flogopitito alterado apresenta teores de cobre e boro necessários para que o elemento seja declarado como micronutriente (Cu: 0,059%, B:0,030%, amostra 3293, Tabela 3). Os teores de zinco foram dosados, entretanto nestas rochas não são considerados reportáveis para remineralizadores de solos.

6.3 Elementos Potencialmente Tóxicos - EPT

A análise química permitiu ainda avaliar o teor de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT, Tabela 3). A instrução normativa para remineralizadores de solos (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016) estabelece teores limítrofes de tolerância (máximos) para EPT, com o intuito de garantir um agromineral seguro para a saúde humana. Incluem-se nesta categoria: As (<15ppm), Cd (<10ppm), Hg (<0,1ppm) e Pb (<200ppm). Todas as rochas analisadas (Tabela 3) não apresentaram teores impeditivos para nenhum destes elementos, estando todos muito abaixo dos limites estabelecidos Cd (<0,580ppm), Hg (<0,08ppm), e Pb (<4,8ppm). O arsênio estava abaixo do limite de detecção do ICP-OES (<1ppm). Todos os EPT estão abaixo dos limites de detecção da FRX.

7 Estimativas de Reservas

Na Mina Ipueira as pilhas de descarte são passivo ambiental. Atualmente, as pilhas são dispostas sequencialmente em platôs e posteriormente recebem cobertura vegetal. O inventário quali-quantitativo do descarte desta mina considerou as proporções estimadas dos dois principais grupos de rochas – (i) máficas-ultramáficas e (ii) carbonáticas – presentes em quatro (4) pilhas de descartes (A, B, C, D) georreferenciadas. Estes dados, acrescidos do levantamento topográfico das pilhas de descarte, foram utilizados para cálculo da estimativa percentual e de reservas em cada uma das pilhas analisadas.

A “Pilha A” (UTM 415699 e 8854509) corresponde a um descarte recente e estava em fase de início do processo de cobertura com terra vegetal (Figura 2A). Segundo dados da mineradora a “Pilha A” possuía um volume de descartes de 329.735,85m³, sendo composta por aproximadamente 50% de rochas máficas-ultramáficas (40-35% serpentinitos e 10-15% de harzburgitos) e 50% de rochas carbonáticas.

A “Pilha B” (UTM 415926 e 8855570) ainda se encontrava ativa (sendo abastecida) e segundo dados da mineradora possuía um volume de 155.532,75m³, sendo composta por aproximadamente 60% de rochas máficas-ultramáficas (predominantemente serpentinitos) e 40% de rochas carbonáticas (Figura 2D).

A “Pilha C” (UTM 416315 e 8856371) também estava em início de processo de cobertura vegetal, possuindo um volume de 321.701,60m³, e sendo composta por aproximadamente 70% de rochas máficas-ultramáficas (60% de serpentinitos e 10% de harzburgitos) e 30% de rochas carbonáticas (Figura 2B).

A “Pilha D” (UTM 416512 e 8856576) foi a de descarte mais antigo a ser analisada e já apresentava cobertura vegetal – presença de algumas árvores de grande porte, da espécie algaroba – e um volume de 124.776,33m³. É composta por aproximadamente 100% de rochas máficas-ultramáficas (~90% serpentinitos e 10% de harzburgitos/metanoritos/metagabros). Nesta pilha são raros os blocos de rochas carbonáticas (Figura 2C).

Os dados inventariados demonstram que o descarte da Mineração de Cromo na Mina Ipueira é predominantemente composto por rochas máficas-ultramáficas, especialmente por serpentinitos. O grupo de rochas ultramáficas corresponde no total a cerca de 70% do descarte, enquanto as carbonáticas, que incluem ainda enclaves máficos, correspondem a cerca de 30% do volume de material rochoso descartado.

8 Discussões

O descarte da mina de cromo Ipueira é constituído predominantemente por rochas ultramáficas (~70%) e em menor proporção por mármore dolomíticos (~30%) com minerais de serpentina, apatita,

magnetita e flogopita, e têm potencial para corrigir a acidez de solos, além de serem fonte dos macronutrientes Ca, Mg, K e micronutrientes Fe, Mn, Si, B e Co, respectivamente nesta ordem.

8.1 Potencial Agromineral

Recentemente, materiais que utilizam fibra natural ou artificial tiveram seu uso proibido no Brasil. Isto ocorreu a partir da decisão da inconstitucionalidade da Lei Federal 9.055/1995 pelo Supremo Tribunal Federal em 29/11/2017 (STF - ADI 3406 e 3470; Brasil, 2017). Esta decisão afeta o uso de vários minerais incluindo o anfibólio tremolita e a serpentina crisotilo que por possuírem hábito fibroso configuram um tipo de amianto – finas fibras de origem mineral. Esta decisão reforça a importância da aplicação de análises de DRX para a caracterização de materiais com potencial uso agromineral, de forma a distinguir diferentes variedades de determinado grupo mineral. Nas rochas estudadas, as análises de DRX permitiram demonstrar que a serpentina ocorre apenas na variedade lizardita. Diferentemente do crisotilo, a lizardita possui hábito prismático micáceo e por este motivo não é considerada uma fibra mineral. Esta é uma informação importante e que o uso potencial destas rochas de descarte como agromineral.

Segundo Paçô & Oliveira (2010) os fosfatos naturais (pó de rocha fosfática) são pouco utilizados como insumo agrícola devido à sua baixa eficiência agrônômica. Acreditamos que a insolubilidade de minerais fosfáticos ígneos e/ou metamórficos possa ser associada à sua estrutura cristalina hexagonal, a qual, sendo mais fechada, dificulta sua solubilização. Estudos de solubilização de fosfatos com ácido cítrico (Plotegher *et al.*, 2014) compararam minerais de hidroxiapatita (uma “apatita” de origem sedimentar) com fluorapatita (sintética) demonstrando que a solubilização da hidroxiapatita é maior. Em um experimento apresentado por estes autores a fluorapatita sintética conseguiu liberar cerca de 15-30% de fosfato, dependendo da condição de tratamento hidrotérmico. Nas rochas estudadas os fosfatos são de origem ígnea/metamórfica, e, por isto mesmo, exigem que esta eficiência de solubilização venha a ser otimizada. Em situações similares, Paçô & Oliveira

(2010) recomendam que a aplicação de fosfatos naturais em solos ácidos ou mesmo em solos ligeiramente alcalinos, seja realizada conjuntamente a uma fonte de fósforo solúvel em água.

Solos brasileiros geralmente são muito pobres em Molibdênio e Cobalto. Por esse motivo a EMBRAPA recomenda a utilização destes dois micronutrientes para todas as regiões do país, independente do pH do solo (Brakemeier, 1999). Nas rochas avaliadas, os teores de Mo estavam abaixo dos reportáveis em todas as amostras analisadas, contudo nas rochas ultramáficas avaliadas os teores de Co são relativamente elevados. Como as rochas deste descarte são subsaturadas em sílica (quartzo) considera-se que a maior parte do silício presente neste descarte está em minerais que podem disponibilizar este micronutriente ao sistema-solo planta. A presença destes micronutrientes é, portanto, fator favorável à sua aplicação como agromineral.

8.1 Hidrotermalismo e Flogopitização

A flogopitização é um processo importante, pois a flogopita é um filossilicato rico em K, suscetível ao intemperismo e disponibiliza potássio ao sistema solo-planta. O processo hidrotermal – que causou a flogopitização de alguns níveis dentro do pacote carbonático e também no topo do pacote ultramáfico (nível norítico) – foi o fator que elevou os teores de potássio de algumas das rochas presentes no descarte, elevando as perspectivas de aproveitamento deste macronutriente.

Os teores de potássio presentes nas rochas flogopitizadas da Mina Ipueira variam de 2,21% a 6,97% de K_2O e permitem realizar misturas com os diferentes tipos de rochas de maneira a se obter um remineralizador com o teor mínimo de K_2O requerido pela instrução normativa (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016) que atribui teor mínimo de 1,0 de K_2O para os remineralizadores de solos.

8.1.2 Níquel e Cromo

O níquel e o cromo, elementos típicos das rochas ultramáficas, embora sejam elementos micro-

nutrientes para as plantas, requerem atenção especial, pois podem ser restritivos ao emprego agrícola. O Ni consta na norma com limite mínimo de 0,005% para ser considerado declarável. Em concentrações elevadas ($>0,05\%$), o níquel é considerado fitotóxico. Na maioria das rochas ultramáficas estudadas as concentrações de níquel foram muito elevadas, chegando a 0, 201% no *mix* de serpentinitos (Tabela 3). Entretanto, nos metanoritos a concentração de Ni (0,011 a 0,038%) é tida como aceitável para este micronutriente.

O Cr não foi previsto enquanto EPT na norma (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016). Este elemento é um micronutriente no estado de valência +3, forma em que ocorre nos minerais formadores de rocha. Este micronutriente beneficia o metabolismo humano, desempenhando um papel importante na metabolização dos açúcares. Como é previsível, o teor de cromo nas rochas carbonáticas não ultrapassa 0,009% (Tabela 3), todas as rochas máficas-ultramáficas apresentaram teores elevados para este elemento (variando de 0,214 a 1,108% nos metapiroxenitos; 0,075 a 0,096% nos metanoritos; e média de 0,438% no *mix* de serpentinitos). Na norma para fertilizantes solúveis (MAPA IN 27/2006; Brasil, 2006), o cromo tem limite máximo tolerável de 200ppm, valor muito restritivo quando comparável aos teores comuns em minerais/rochas, em especial nas ultramáficas. Deve-se, porém levar em consideração o fato de que, em pó de rochas, o fertilizante é menos solúvel, tem liberação lenta, e não ocorre no estado tóxico Cr^{6+} .

É importante e necessário avaliar a interação de rochas ricas em cromo com o sistema solo-planta. Apesar de cromo ocorrer nos minerais na valência Cr^3 , é importante que algumas considerações sejam feitas sobre o emprego de rochas ricas neste elemento já que no estado oxidado Cr^{6+} o cromo tem solubilidade elevada e é altamente tóxico. Garnier *et al.* (2006) chama a atenção para a capacidade de alguns sistemas solo-planta biodisponibilizar cromo através de sua absorção e translocação (concentração e mudanças na forma do Cr). Isto depende de inúmeros fatores. A presença de Mn e P nos sistemas solo-plantas agrava o potencial tóxico deste elemento. A passagem do Cr ao estado Cr^{6+} pode ocorrer em solos por reações de oxirredução com óxidos de

Mn. No solo, o Cr^{6+} pode estar adsorvido e ser disponibilizado por troca aniônica entre o Cr^{6+} (na forma HCr_2O_4^- e $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$) e o ânion PO_4^{3-} , já que o fosfato tem afinidade pelas fases portadoras de cromo.

Considerando as situações acima referidas e o provável uso agrícola deste descarte mineral, é necessário monitorar sistematicamente o sistema solo-planta para o caso de sua aplicação em áreas mal drenadas, de várzeas, situação em que pode ocorrer acúmulo de óxidos de manganês e/ou cultivos onde são utilizados teores mais elevados de fósforo, como no caso das áreas de produção de hortaliças (Blaskowski *et al.*, 2017).

8.2 Assembleia Mineral, Potencial Remineralizador e Corretivo de Acidez em Solos

Rochas carbonáticas são rotineiramente utilizadas na correção de acidez em solos. Calcita e dolomita tem solubilização fácil em condições físico-químicas naturais e atuam simultaneamente como neutralizadores do pH corrigindo a acidez dos solos (calagem), que ocorre devido à reação de do carbonato de cálcio ou magnésio com radical H^+ ou Al^+ presente no solo, resultando em água e na liberação de gás carbônico (Blaskowski *et al.*, 2016). Além disto, se houver disponibilidade suficiente, podem ser fonte de cálcio e magnésio para as plantas. Nas rochas carbonáticas presentes no descarte estudado, predomina o carbonato dolomítico ou magnesianos que tem poder neutralizador 15% mais alto que o carbonato de cálcio (Holanda, 1987). O carbonato dolomítico tem também uma solubilização maior que o calcítico. Vale ressaltar que a presença dos outros carbonatos identificados no descarte como o carbonato de cádmio otavita, poderia ser considerada restritiva já que o Cd é um EPT, todavia, as quantidades deste elemento identificadas nas rochas objeto deste estudo não são nocivas à saúde humana.

Todos os minerais presentes nas rochas ultramáficas estudadas, com exceção dos minerais do grupo do espinélio (considerados resistatos), são capazes de disponibilizar com facilidade o macronutriente magnésio ao sistema solo-planta, além de contribuir para a correção de acidez de solos. A serpentina lizardita, em especial, por ser o mineral mais abundante nas rochas do descarte avaliado, é

capaz de disponibilizar o macronutriente magnésio, sendo muito útil à remineralização dos solos, principalmente nos casos de regiões que comumente vem utilizando o calcário calcítico para calagem. Na forma de lizardita, a serpentina demonstra ser uma boa fonte de Mg, Fe, Si e possuir bom potencial para a correção da acidez.

É importante considerar o diferencial ambiental ligado ao uso de rochas ultramáficas, em contraposição a rochas carbonáticas, na correção de acidez em solos. Nos solos, as reações químicas que permitem a neutralização dos cátions H^+ e Al^{3+} , íons responsáveis pela acidez, são diferenciadas para rochas carbonáticas e ultramáficas. Nos carbonatos a reação com estes íons tem como produto CO_2 , que é emitido para a atmosfera, enquanto que com o emprego de rochas ultramáficas a reação com estes dois cátions se dá pela reação do ânion hidroxila (OH^-) que é produzido pela decomposição de minerais ferro-magnesianos, gerando óxidos e hidróxidos de Al, Si e Fe (Chesworth, 1973). Este processo no caso das rochas ultramáficas é duplamente vantajoso, pois além de proporcionar a fixação do Al (tóxico), que ao ser retido no solo não é absorvido pelas plantas, também proporciona a correção do pH, que ocorre sem a liberação de dióxido de carbono – pegada neutra de C – fato que deve ser levado em consideração contribui para diminuição dos efeitos do aquecimento global.

8.3 Blendagem ou Mix

Os teores ideais dos macro e micronutrientes associados à redução dos conteúdos dos Cr e Ni poderiam ser alcançados neste descarte se dele fossem excluídos os metapiroxenitos. Estas rochas, além de teores de elevados de Ni, são os litotipos com que apresentaram os maiores teores de Cr (até 1,6% de Cr_2O_3). Outra forma de se obter esta composição teórica, considerando-se que os teores de níquel na maioria das rochas ultramáficas dos descartes apresentaram quantidades superiores a 0,05% – risco de fitotoxicidade – é realizar a *blendagem* para diluí-los.

Assim como proposto por Blaskowski *et al.* (2016) a *blendagem* (misturas) entre descartes de composições e/ou litotipos distintos pode ser feita buscando uma composição ideal para o reminerali-

zador de solos. Neste sentido, a presença de rochas carbonáticas no descarte da Mina Ipueira é providencial. A adição de carbonatos às rochas máficas/ultramáficas pode resultar em produtos de mistura (*blends ou mix es*) para compor um agromineral onde os teores elevados de Ni e Cr podem ser diluídos.

O registro de intenso processo de flogopitização tanto no pacote carbonático como no topo do pacote ultramáfico nas rochas de descarte da área de Ipueira VI, é sugestiva de um enriquecimento em fluido potássico, o qual poderia estar relacionado ao magmatismo potássico-ultrapotássico que originou o Batólito do Sienítico de Itiúba (Conceição *et al.*, 2003). A potassificação de algumas rochas presentes no descarte da Mina Ipueira, que contribuiu para o geração de filossilicato rico em K (flogopita) em alguns litotipos, possibilita que através da *blendagem* entre rochas presentes nos descartes de mineração se obtenha um agromineral que atenda à norma (MAPA IN 05/2016; Brasil, 2016), que prevê um mínimo de 1% de K₂O nos remineralizadores de solos e a criação de um novo insumo agrícola, um remineralizador de solos eficiente e ambientalmente seguro, que também tem importância econômica, social e ambiental pois além de melhoria do solo para a agricultura haveria a redução de um passivo ambiental da mineradora e a geração de novos empregos na região. Para isto é importante a seleção deste descarte mais rico em potássio (flogopita) para utilização na *blendagem* permitindo um melhor controle dos teores de macronutrientes, no caso o K.

9 Conclusões

O principal insumo agrícola utilizado no Brasil hoje é o NPK, para o qual são importados P e K, elementos em que o país ainda não é auto-suficiente (Chaves, 2010). A demanda atual é da ordem de quatro milhões de toneladas por ano - dados do ano de 2017 (ANDA, 2018), sendo importados produtos intermediários para produção de fertilizantes, em especial P e K de países como: Marrocos, República Federativa da Rússia, Argélia, Estados Unidos, Israel, Togo, China e Tunísia - insumos fosfáticos; e Canadá, Alemanha, Rússia, Bielorrússia e Israel - insumos potássicos. Segundo dados da mineradora, existe um volume total de passivo de descarte de mi-

neração que corresponde a cerca de 2.431.746,53m³ e a perspectiva de se continuar gerando descartes na média de 350.000 m³/ano pelos próximos cinco (05) anos. O descarte de mineração da mina Ipueira é fonte potencial de macronutrientes de Ca, Mg e K, além dos micronutrientes Fe, Mn, Si, B e Co. Existe, portanto, um mercado potencial a ser suprido caso este material venha a ser reutilizado como agromineral.

Pelos critérios avaliados, este descarte proveniente da Mina Ipueira tem elevado potencial para fonte de macro e micronutrientes de uso como agromineral. Para aproveitamento das rochas descartadas pela mineração de cromita enquanto corretivos de solos é necessário a realização de ensaios agronômicos e que se determine a capacidade de neutralização relativa ao CaCO₃, bem como sua reatividade (RE), e o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) que expressa o quão rápido uma 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 petrológica e química dos descartes da Mina Ipueira coloca em foco o potencial destes materiais para emprego como remineralizadores e na correção de acidez de solos agrícolas, além de estimular o uso para um destino mais nobre aos materiais de descarte de mineração.

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 descarte só poderá ser efetuada após a compreensão da dinâmica do Cr e Ni em solos e plantas a que se destinem.

10 Agradecimentos

Os autores agradecem à FERBASA – Cia de Ligas Ferro da Bahia, suporte em infraestrutura, disponibilização das amostras e acesso às pilhas de descarte. Ao Serviço Geológico do Brasil, pelo apoio financeiro às atividades de campo, infraestrutura laboratorial e liberação de Blaskowski, para a realiza-

ção desta pesquisa. Ao Laboratório de Durabilidade dos Materiais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia e ao Complexo Laboratorial Multiusuários da, Galpão das Geociências, do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe onde foram realizadas as etapas analíticas. Este trabalho contou com recursos dos projetos GeoLogar: Ciências da Terra para a Sociedade (Processos 559013/2009-4 do CNPq e TO: PES 0056/2011 da FAPESB). Débora Rios (Processo 307554/2015-5) e Herbet Conceição (311008/2017-8) agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa. Este trabalho integra as atividades de mestrado de Alessandra Blaskowski no Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia.

11 Referências

- Alcarde, J.C. 2005. *Corretivos de acidez dos solos: características e interpretações técnicas*. Boletim Técnico ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo, 6: 24p.
- ANDA. 2018. *Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas*. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/>>. Acesso em: 23 fev. 2017 e 02 abr. 2018.
- Barbosa, J.S.F & Sabaté P. 2003a. Colagem Paleoproterozóica de placas arqueanas do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(1-Suplemento):7-14.
- Barbosa, J.S.F & Sabaté P. 2003b. O Cráton do São Francisco Na Bahia: Uma síntese. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(1):3-6.
- Bergmann, M.; Silveira, C.A.P.; Bandeira, R.; Bamberg, A.L.; Martinazzo, R. & Grecco, M.F. 2014. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. & DONATO, M. (Orgs.). *Tecnologia e Inovação em Gemas, Joias e Mineração*. IGEO/UFRGS, p. 119-126.
- Blaskowski, A.E.; Bergmann, M.; Posser, C.A.P.; Garnier, J.; Camargo, M.A. & Cavalcante, O.A. 2017. Potencial das rochas das pilhas de descarte da Mineração Ferbasa-CIA de Ferro Ligas da Bahia como corretivo e remineralizadores de solos. In: BAMBERG, A.L.; SILVEIRA, C.A.P.; MARTINS, E.S.; BERGMANN, M.; MARTINAZZO, R. & THEODORO, S.H. (eds.). *III Congresso Brasileiro de Rochagem*, Anais... Pelotas, p.121-128.
- Blaskowski, A.E. 2018. *Caracterização petrológica e química das rochas de descarte da Mina Ipueira e seu Potencial Agromineral*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 190p.
- Blaskowski, A.E.; Bergmann, M. & Cavalcante, O.A. 2016. *Agrominerais da região Irecê-Jaguarari*. Informe de Recursos Minerais. Série Insumos Minerais para a Agricultura. Serviço Geológico do Brasil. SUREG Salvador. 19:105p.
- Brakmeier, C. 1999. Acertando no Adubo. *Revista Cultivar Grandes Culturas*. 1(7):31-32. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/acertando-no-adubo>. Acesso em: 29/01/2018.
- Brasil, 2017. *Supremo Tribunal Federal. Ação Direta de Inconstitucionalidade – ADI 3470 e ADI 3470*. Decisão de inconstitucionalidade. Presidiu o julgamento a Ministra Cármen Lúcia. Plenário do STF, 29.11.2017. 29 de novembro de 2017.
- Brasil, 2016. *MAPA IN 05/2016. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*. Instrução Normativa SDA N.º 05 de 10 de março de 2016. Dispõe sobre os critérios e protocolos em remineralizadores e substratos para as plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Seção 1, p.10-11.
- Brasil, 2016. *MAPA IN 06/2016. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*. Instrução Normativa SDA N.º 06 de 10 de março de 2016. Altera a instrução normativa 53/2013. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Seção 1, p.11-13.
- Brasil, 2007. *MAPA IN 27/2007. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*. Instrução Normativa SDA N.º 27, de 05 de junho de 2007. Dispõe sobre as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de junho de 2006. Seção 1, p.15-16.
- Brasil, 2006. *MAPA IN 35/2006. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*. Instrução Normativa SDA N.º 35, de 04 de julho de 2006. Dispõe sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 de julho de 2006. Seção 1, p.32.
- Brasil, 1995. *Lei n. 9.055, de 01 de junho de 1995*. Disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte do asbesto/amianto e dos produtos que o contenham, bem como das fibras naturais e artificiais, de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 02/06/1995.
- Brasil, 2013. *Lei n. 12.890, de 10 de dezembro de 2013*. Inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 11/12/2013.
- Chaves, A.P. 2010. Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: MARTINS, E.S. & THEODORO, S.H. (eds.). *I Congresso Brasileiro de Rochagem*, Anais... Brasília, p. 313-321.
- Chesworth, W. 1973. The parent rock in the genesis of soils. *Geoderma*, 10:215-225.
- COD. 2017. *Crystallographic Open Database*. URL: <<http://sdpd.univ-lemans.fr/cod/>> acesso em novembro 2017.
- Conceição, H. 1990. *Petrologie du Massif Syénitique d'Itiúba: contribution à l'étude minéralogique des roches alcalines dans l'État de Bahia (Brésil)*. PhD Thesis, Centre

- d'Orsay, Université Paris-Sud, Paris, 395p.
- Conceição, H.; Rosa, M.L.S.; Macambira, M.J.B.; Scheller, T.; Marinho, M.M. & Rios, D.C. 2003. 2.09 Ga Idade Mínima da Cristalização do Batólito Sienítico Itiúba: um problema para o posicionamento do clímax do metamorfismo granulítico (2,05-2,08Ga) no Cinturão Móvel Salvador-Curaçá, Bahia? *Revista Brasileira de Geociências*, 33(3):391-394.
- Deus, P.B.; Viana, J.S.; Duarte P.M. & Queiroz, J.A. 1982. Distrito cromífero de Campo Formoso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Roteiro de Excursões, Salvador, 3:52-59.
- Dias, J.V.R.P.; Marques, J.C.; Queiroz, W.J.A.; Frantz, J.C. & Giusti, R. 2014. O Corpo Várzea do Macaco e as mineralizações de cromo, níquel e cobre. Complexo Máfico-ultramáfico Jacurici, Cráton São Francisco, Bahia. *Brazilian Journal of Geology*, 44(2):289-308.
- Dourado Neto, D.; Aparecido Dario, G.J.; Silva, M.R.; Pavinato, P.S. & Habitzreiter, T.L. 2012. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. Londrina. *Semina - Ciências Agrárias*, 33(1): 2741-2751.
- Favarin, J.L. & Marini, J.P. 2000. *Importância dos micronutrientes para a produção de grãos. Sociedade Nacional de Agricultura*. Disponível em: <http://alternex.com.br/snafagram/artigos/artitec-micronutrientes.htm>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- Garnier, J.; Martins, E.; Quantin, C. & Becquer, T. 2006. Solid speciation and availability of chromium in ultramafic soils from Niquelândia, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 88:206-209.
- Holanda, C. 1987. *Calcários de Pernambuco: rochas para fins industriais*. Recife, SICOM – Minérios de Pernambuco, 229p.
- Lopes, A.S.; Silva, M.C. & Guilherme, L.R.G. 1990. *Acidez do Solo e Calagem*. Boletim Técnico ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo, 1: 22p.
- Marques, J.C. 2001. *Petrologia e Metalogênese do Depósito de Cromita do Sill Ipueira- Medrado, Vale do Jacurici-Bahia*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 155p.
- Marques, J.C. & Ferreira Filho, C.F. 2003. The Chromite of the Ipueira-Medrado Sill, Bahia, Brasil. *Economic Geology*, 98:87-108.
- Marques, J.C.; Ferreira Filho, C.F.; Carlson, R.W. & Pimentel, M.M. 2003. Re-Os and Sm-Nd isotope systematics and trace elements geochemistry setting constraints in the chromite deposits of Ipueira-Medrado Sill, Brazil. *Journal of Petrology*, 44(4):659-678.
- Martins, E.S.; Resende, A.V.; Oliveira, C.G. & Furtini Neto, A.E., 2010. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B. & CASTILHOS, Z.C. (Eds). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 89-104.
- Mascarenhas J.F. 1979. Evolução geotectônica do Pré-Cambriano do Estado da Bahia. In: INDA, H.A.V. (ed.) *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia*. Textos Básicos. Salvador-BA, SME/CPM, 2:57- 165.
- McCusker, L.B.; Von Dreele, R.B.; Cox, D.E.; Louer, D. & Scaradi, P. 1999. Rietveld refinement guidelines. *Journal of Applied Crystallography*, 32:36-50.
- Oliveira, E.P.; Windley, B.F.; McNaughton, N.J.; Pimentel, M.M. & Fletcher, I.R. 2004. Contrasting copper and chromium metallogenetic evolution of terranes in the Paleoproterozoic Itabuna-Salvador-Curaçá Orogeny, São Francisco craton, Brazil: new zircon (SHRIMP) and Sm-Nd (model) ages and their significances for orogeny-parallel escape tectonics. *Precambrian Research*, 128:143-165.
- Oliveira, R.C.L.M. 2016. *Carta Geológica Folha SC 24-Y-B-II Andorinha -Escala 1:100.000*. Serviço Geológico do Brasil. Sureg Salvador.
- Paçô, B.I. & Oliveira, S.A. 2010. Eficiência agronômica de fosfatos de Rocha Itafôs, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato simples no Oeste da Bahia, para cultura da soja. In: MARTINS, E.S. & THEODORO, S.H. (eds.). *I Congresso Brasileiro de Rochagem*, Anais... Brasília, p.93-100.
- Plotegher, F.; Cobra, I.P. & Ribeiro, C. 2014. Síntese e caracterização de fases fosfáticas minerais: hidroxiapatita e flúor-apatita. In: WORKSHOP DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 7, Juiz de Fora, p.399-403.
- Queiroz, W. 2016. *Relatório de consultoria interna da FER-BASA*. 13p.
- Rios, D.C.; Davis, D.W.; Conceição, H.; Davis, W.J.; Rosa, M.L.S. & Dickin, A.P. 2009. Geologic evolution of the Serrinha nucleus granite-greenstone terrane (NE Bahia, Brazil) constrained by U-Pb single zircon geochronology. *Precambrian Research*, 170:175-201.
- Rodrigues, F.A.; Oliveira, L.A.; Korndorfer, A.P. & Korndorfer, G.H. 2011. Silício: um elemento importante e benéfico para as plantas. *Revista Informações Agronômicas*, 134:14-20.
- Silveira, C.J.S.; Frantz, J.C.; Marques, J.C.; Queiroz, W.J.A.; Roos, S. & Peixoto, V.M. 2015. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas intrusivas e de embasamento na região do Vale do Jacurici, Cráton do São Francisco, Bahia. *Brazilian Journal of Geology*, 45:453-474.
- Teixeira, W.; Sabaté, P.; Barbosa, J.S.F.; Noce, C.M. & Carneiro, M.A. 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: CORDANI, U.G. ; MILANI, E.J.; THOMAS FILHO, A. & CAMPOS, D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*, International Geological Congress, Anais... Rio de Janeiro, p.101-137.
- Theodoro, S.H. 2000. *A fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Brasília, Brasília, 231p.
- Van Straaten, P. 2007. *Agrogeology: the use of rocks for crops*. Cambridge, Ontário. Environquest, 440p.
- Van Straaten, P. 2010. Geodiversity, biodiversity and the origin of crops. In: MARTINS, E.S. & THEODORO, S.H. (eds.). *I Congresso Brasileiro de Rochagem*, Anais... Brasília, p.13-22.
- Wiethölter, S. 2000. *Calagem no Brasil*. Passo Fundo: Embrapa Trigo. Documento, 22:104 p.