



## CARACTERIZAÇÃO DE ROCHA GRANULÍTICA DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR VISANDO SUA APLICAÇÃO COMO FONTE DE AGROMINERAIS

REIS, A. C.<sup>1</sup>, DE ANDRADE LIMA L.R.P.<sup>2</sup>, JESUS, E.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, e-mail: acreis@outlook.com

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, e-mail: lelo@ufba.br

<sup>3</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, e-mail: ebjesus@ufba.br

### RESUMO

O manejo no plantio dos solos brasileiros tem se tornado cada vez mais custoso devido a falta de nutrientes consequente da produtividade em larga escala e dos fertilizantes atualmente utilizados. A aplicação de rochas silicáticas como agromineral tem demonstrado potencial agrônômico em diversas culturas, no entanto, precisa-se haver estudos a fim de balizar as estratégias de manejo devido a variabilidade no comportamento de minérios com diferentes características composicionais. Os resultados demonstraram que o pó de rocha granulítica da RMS em ácido cítrico 2% 1:100 solubilizou Ca, Mg, K e Si nas concentrações de, respectivamente, 3600, 3100, 2999 e 3100 ppm em frentes de lavra com predominância de biotita, enquanto que regiões majoritariamente compostas de microclina apresentou baixa solubilidade. Também foi possível identificar teores traço de S, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Se e Zn que podem vir a ser disponibilizados para as plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rochagem; Pó de brita; Agromineral.

### ABSTRACT

Soil management in Brazilian soils has become increasingly expensive due to the lack of nutrients resulting from large-scale productivity and fertilizers currently used. The application of silica rocks dust as agronomic mineral has demonstrated agronomic potential in several cultures, however, it is necessary to have studies in order to be able to control the management strategies due to the variability in the behavior of ores with different compositional characteristics. The results showed that the RMS granulitic rock dust in 2% 1:100 citric acid solubilized Ca, Mg, K and Si at the concentrations of, respectively, 3600, 3100, 2999, and 3100 ppm in biotite predominant mining fronts while regions mostly composed of microcline presented low solubility. It was also possible to identify trace levels of S, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Se and Zn that may be available to plants.

**KEYWORDS:** Minerals to agricultural soils; Plant nutrientes; Rock dust

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem ocupado uma posição de destaque em relação aos países desenvolvidos e emergentes na produção agrícola. Os solos brasileiros, de forma geral, são ácidos, empobrecidos pela ação do intemperismo e carentes de nutrientes como o fósforo e potássio. Para conseguir altos desempenhos no campo, são necessários vultosos investimentos em fertilizantes e corretivos. Isto se deve a baixa produção nacional desses insumos o que torna necessário a importação de grandes quantidades de fertilizantes e/ou matérias-primas, encarecendo a produção agrícola (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009).

Atualmente, o Brasil importa 90% do potássio e para garantir o suprimento de potássio o país teve que desembolsar mais de US\$ 2 bilhões (BRASIL MINERAL, 2017). Por esta razão, uma crescente preocupação tem ocorrido, uma vez que, alguns agravantes como o aumento da demanda mundial por alimentos e o aumento desses insumos, resultam na manutenção dos altos preços. Por esta razão a busca por fontes de nutrientes eficientes, econômicas e mais acessíveis tem importante papel da economia brasileira, sobretudo, para o desenvolvimento sustentável das populações no âmbito da agricultura familiar. Neste contexto, os resíduos das atividades minerais, em especial o pó de brita, tornam-se uma alternativa interessante uma vez que a maioria das rochas utilizadas na produção de agregados é de origem ígnea ou metamórfica, silicática, e, portanto, compostas por feldspatos alcalinos, feldspatóides e micas que são considerados potenciais fontes alternativas de potássio para a produção de fertilizantes – rochagem (MARTINS et al., 2008; LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009).

O uso de pó de rocha como remineralizantes, em especial as silicáticas, é questionado por diversos pesquisadores. De acordo com STRAATEN (2006) o principal inconveniente no uso de agrominerais como fertilizantes é o de fornecer os nutrientes em quantidades e no tempo adequado a cada cultura. Outros inconvenientes estão associados com a grande quantidade de agromineral necessário para compensar as baixas concentrações dos nutrientes e com a fina granulometria necessária para potencializar a solubilidade dos minerais, o que pode implicar no aumento do custo do uso da técnica. Por outro lado, para LEONARDOS et al. (2000) e SOUZA et al. (2010) a baixa solubilidade das rochas atribuem a elas elevada capacidade de recuperação da fertilidade dos solos, principalmente em áreas com problemas de salinidade e sujeitas a chuvas frequentes, típicas de zonas tropicais, evitando que os nutrientes sejam rapidamente lixiviados.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar, preliminarmente, o potencial agromineral de uma rocha silicática de uma Pedreira da Região Metropolitana de Salvador a partir de ensaios de caracterização química, mineralógica, petrográfica e tecnológica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação do potencial agronômico do pó de rocha da Pedreira da RMS foi realizada a partir de ensaios para a caracterização física, química e mineralógica. Adicionalmente, foram realizados ensaios com o pó de perfuração da rocha coletado em campanha de sondagem ao longo da cava da mina a fim de avaliar a variabilidade do material no depósito.

Inicialmente uma amostra de 25 kg de pó de rocha foi coletada da pilha do produto fino da Pedreira, material tipicamente abaixo de 6 mm. Os procedimentos de amostragem

em pilha foram adaptados da ABNT NBR 10007. A amostra primária foi quarteada e uma alíquota de 500 g foi enviada ao laboratório para a preparação final e execução de análise química e mineralógica.

A análise química dos principais elementos foi realizada por fluorescência de raio X em um espectrômetro WDS Bruker S8 Tiger. A calibração foi realizada com o pacote GeoQuant-M e GeoQuant-T da Bruker composto por padrões de rochas e minerais naturais. Para determinação da perda na ignição (LOI) as amostras foram calcinadas 1000°C por 5 horas. Uma massa de 1 g de amostra previamente calcinada foi fundida com 9 g de tetraborato de lítio.

Difração de raio X foi usada para estimar a composição mineralógica do pó de rocha. A análise foi realizada em um difratômetro Bruker D8 Discover. Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre. A análise petrográfica foi realizada em caráter macroscópico e microscópico. A descrição macroscópica foi realizada através de uma lupa em amostras brutas da rocha *in natura*. A análise microscópica foi realizada com um microscópio ótico de luz transmitida Zeiss Axio Scope A1 a partir de uma seção de lâmina produzida da rocha.

A disponibilização de elementos úteis e de elementos potencialmente perigosos do pó de rocha foi avaliada conforme procedimentos descritos nas ABNT NBR 10005 – Procedimento de obtenção de extrato lixiviado de inorgânicos não voláteis – e ABNT NBR 10006 – Procedimento de obtenção de extrato solubilizado – em conformidade com os limites máximos estabelecidos na ABNT NBR 10004.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA**

As curvas abaixo (figura 1) referem-se as amostras coletadas para caracterização, uma referente a granulometria média das amostras da campanha de sondagem (pó da perfuração) e outra referente ao material coletado diretamente na pilha de produto. O pó da perfuração tem d80 de aproximadamente 714 micra e o material coletado na pilha do produto em torno de 1000 micra. Essa granulometria tem relação direta com os processos industriais submetidos, sendo o pó da perfuração mais fino devido a cominuição recorrente do material no furo durante o avanço e para o segundo caso, este se apresenta relativamente mais grosso devido ao corte nas etapas de peneiramento da planta de beneficiamento.

#### **3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA**

A tabela 1 refere-se à análise química dos elementos maiores e as tabelas 2 e 3 referem-se aos elementos traços (macro e micro-nutrientes) analisados, todos provenientes da campanha de sondagem.

Os resultados obtidos em relação aos elementos maiores demonstram a variabilidade composicional da rocha ao longo da cava em operação. A composição química mostra predominância de silício, alumínio e ferro, os quais podem eventualmente atuar como

micronutrientes a depender da disponibilidade para as plantas. A rigor, as rochas ácidas como granito possuem teor de  $\text{SiO}_2 > 65\%$ , no entanto, o litotipo analisado tem um caráter majoritariamente intermediário (52 a 66% de sílica).

O alumínio apresentou contrações consideráveis, embora alguns estudos demonstrarem efeitos benéficos com pequenas quantidades de alumínio, este provoca toxidez em função de diversos fatores no solo como o pH, tipo de argila predominante, concentração de sais da solução e teor de matéria orgânica no solo (FOY, 1974).

Cálcio, magnésio e potássio, correspondem a alguns dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, podendo atuar como corretor e condicionador de solo ou possivelmente fertilizante.

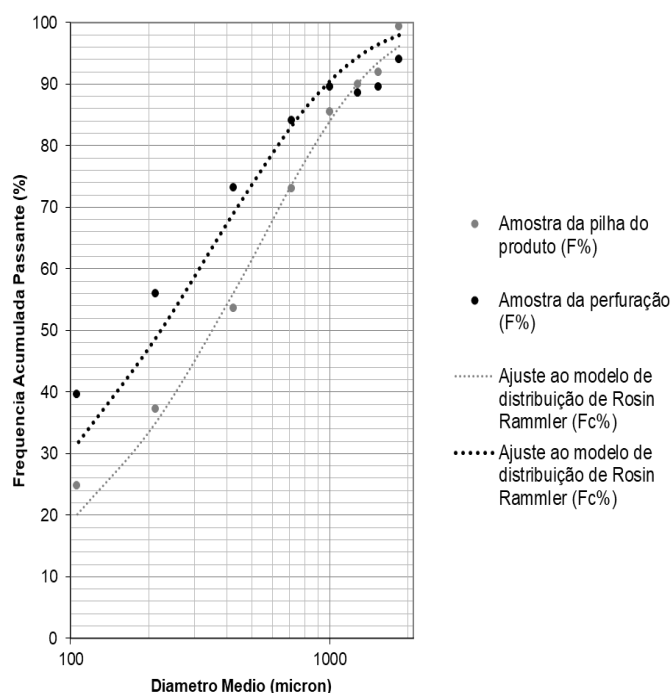


Figura 1 – Curva granulométrica do pó da pilha e pó da perfuração ajustados ao modelo de Rosin-Rammler.

Tabela 1 - Análise química obtida por espectrometria de FRX para os elementos maiores (%).

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	LOI
SR-02	57,9	15,3	8,44	5,88	3,89	0,61	0,21	2,83	2,4	0,13	0,78
SR-03	58	16,2	7,29	5,4	3,42	0,79	0,26	3,23	2,7	0,09	0,85
SR-05	64,1	14,1	6,17	2,84	2,84	0,58	0,09	2,5	3,99	0,08	1,07
SR-06	63,9	14,5	7,82	2,69	3,32	0,8	0,2	2,74	3,59	0,11	1,02
SR-08	60,2	15	8,09	5,41	3,58	0,7	0,28	2,9	3,14	0,13	0,97
SR-09	58,9	15,6	8,51	5,31	4,13	0,61	0,2	2,91	2,45	0,12	0,68
SR-11	60,1	15,1	7,78	5,33	3,38	0,63	0,22	3,11	2,68	0,11	1,02
SR-13	59,7	15,2	7,8	5,79	3,49	0,52	0,2	2,97	2,18	0,12	0,98
SR-14	60,1	14,3	8,05	4,91	5,03	0,62	0,23	2,67	2,54	0,11	1,3
SR-16	60,8	15	8,17	4,99	3,73	0,59	0,22	3,03	2,41	0,11	1,29
SR-17	62,6	15,1	6,07	4,14	2,52	1,04	0,378	2,98	4,18	0,08	1,39
SR-18	59,3	15,3	8,07	5,4	3,94	0,68	0,28	3,07	2,78	0,11	1,08
SR-20	59,2	15,8	7,05	5,15	3,5	0,63	0,203	3,38	2,4	0,1	0,82
SR-21	57,8	15,4	8,93	5,52	3,53	1,19	0,31	3,06	2,43	0,13	1,2
SR-22	66,1	15,6	3,72	2,72	1,28	0,64	0,227	3,22	5,08	0,04	0,47
SR-23	58,3	16,2	7,57	5,25	3,41	0,84	0,275	3,15	3	0,1	0,47

**Tabela 2 – Resultado da análise química de elementos traços micronutrientes.**

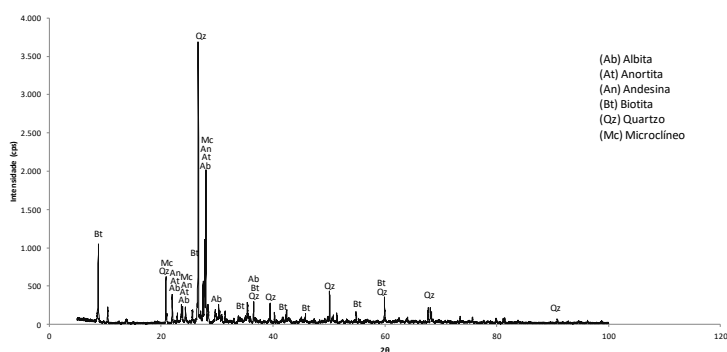
	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (%)	P (ppm)	S (ppm)
SR-02	16,4	15,4	4,6	328	1,26	14,1	63	0,65	1,2	1,03	944	0,04
SR-03	16,6	44,9	4,49	359	1,15	14	77	0,85	1,43	1,04	1223	0,09
SR-05	14,7	67,2	4,39	431	1,42	11	73	1,01	1,51	0,56	419	0,18
SR-06	17,7	78	4,75	419	1,82	14,5	68	0,86	1,51	0,45	806	0,28
SR-08	18,1	80,9	5,03	403	1,43	14,3	105	0,61	1,32	1,06	1224	0,25
SR-09	17,6	51,4	4,92	328	1,11	18,7	75	0,88	1,47	0,95	946	0,14
SR-11	16,7	20,1	4,77	397	1,88	14,4	65	0,54	1,19	1,04	921	0,08
SR-13	19,3	137,7	4,39	311	1,51	17,5	92	0,62	1,1	0,94	935	0,61
SR-14	18,4	18,7	4,41	352	3,04	38,8	61	0,86	1,9	1,03	1034	0,06
SR-16	19,2	128,7	4,69	352	2,37	14,4	94	0,69	1,32	0,87	979	0,62
SR-17	13,6	26,4	3,74	349	2,54	12,5	69	0,48	1,2	1,34	1570	0,08
SR-18	20	73,1	4,9	343	3,27	17	90	0,83	1,47	1,06	1256	0,38
SR-20	17,4	25,4	4,44	395	2,19	13,7	67	0,85	1,46	0,86	884	0,11
SR-21	19,6	29,3	5,27	408	1,61	23,2	86	0,72	1,4	1,35	1410	0,09
SR-22	7,4	13,1	2,54	196	1,75	5,8	46	0,54	0,7	0,54	1092	0,04
SR-23	15,3	50,2	4,2	255	1,28	14,7	70	0,83	1,21	0,9	1203	0,1

Foram identificados uma série de elementos que são potenciais micronutrientes em concentrações traço nas amostras da mina, podendo eventualmente suprir a necessidade das plantas em relação ao S, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Se e Zn. Apesar de terem sido identificados na análise dos óxidos maiores, os elementos P, K, Mg, Ca e S foram avaliados com a mesma metodologia, a qual pôde indicar parâmetros de “disponibilidade” em função do grau de dificuldade de abertura da partícula pelo método empregado.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A figura 2 representa o difratograma do pó, e a figura 3 mostra as fases encontradas por petrografia da amostra de rocha *in natura*, cujo litotipo foi identificado como um milonito de gnaiss tonalítico.

Apesar de ser uma amostra pontual, os minerais associados aos resultados são coerentes com a variação composicional química encontrada. Em uma macroanálise petrográfica da mina pode-se identificar mineralogias preferenciais em alguns pontos, os quais apresentam uma correlação significativa com os dados da análise de elementos maiores e traços, especialmente nos pontos de coleta SR-06 e SR-22, os quais contém concentrações preferenciais de, respectivamente, biotita e microclina. Estas duas mineralogias embasaram a caracterização tecnológica a fim de avaliar a eficiência relativa nas duas frentes de lavra.



**Figura 2 – Difratograma da amostra pó de rocha com principais fases.**

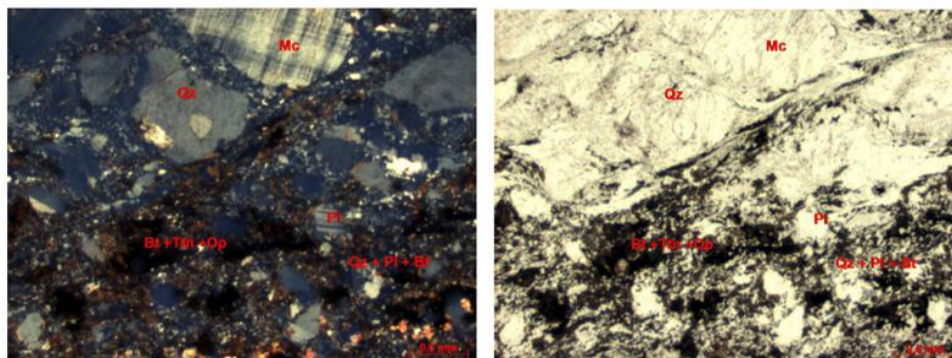


Figura 3 – Análise petrográfica da amostra de rocha *in situ*. (Qtz) Quartzo; (Pl) Plagioclásio; (Bt) Biotita; (Ttn) Titanita; (Mc) Microclíneo, (Op) Opacos; Figura á esquerda: Aumento de 25x, Nx; Figura a direita: Aspectos da fotomicrografia anterior em luz polarizada de 25x. Lp.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A avaliação tecnológica do material foi feita em duas etapas. Primeiro foi determinada a viabilidade ambiental da aplicação desse tipo de material no solo baseado nos parâmetros da ABNT NBR 10004: Classificação de Resíduos Sólidos, e em um segundo momento avaliou-se a disponibilidade dos nutrientes Ca, Mg, K, Si e P com ácido cítrico 2% 1:100 em duas diferentes frentes de lavra, que conforme citado anteriormente, uma apresenta concentração de minerais silicáticos relativamente mais solúveis como a biotita, e outra região com concentração majoritária de minerais potássicos, a exemplo da microclina.

Tabela 3 - Resultado do extrato lixiviado (NBR10005) e solubilizado (NBR 10006).

Parâmetros	ABNT NBR 10005 (Lixiviado)		ABNT NBR 10006 (Solubilizado)	
	Extrato lixiviado (mg/L)	Limite máximo (mg/L)	Extrato Solubilizado (mg/L)	Limite Máximo (mg/L)
Al	-	-	0,17	0,2
Ag	<0,1	5	-	-
As	<0,01	1	<0,01	0,01
Ba	0,59	70	0,01	0,7
Cd	<0,05	0,5	<0,005	0,005
Pb	<0,05	-	<0,01	0,01
CN	-	-	<0,005	0,07
Cl <sup>-</sup>	-	-	2	250
Cu	-	-	<0,008	2
Cr	<0,05	5	<0,01	0,05
Fe	-	-	0,11	0,3
Hg	<0,01	0,1	-	-
Mn	-	-	<0,01	0,1
Hg	-	-	<0,001	0,001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	2,7	10
Ag	-	-	<0,01	0,05
Se	<0,01	1	<0,01	0,01
Na	-	-	3,2	200
Zn	-	-	<0,02	5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	14	250
F <sup>-</sup>	1,1	150	0,8	1,5

### 3.4.1 Lixiviação e solubilização para classificação do resíduo

Os parâmetros analisados a fim de classificar o material quanto a sua viabilidade ambiental (Tabela 3) se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 10004: Classificação de Resíduos, tanto para o extrato lixiviado como para o solubilizado, sendo, portanto, considerado um resíduo classe IIB –inerte, que não apresenta risco ao meio ambiente, mas que deve ser controlado e monitorado periodicamente devido a variabilidade composicional natural da rocha que pode eventualmente apresentar alguma anomalia.

### 3.4.2 Disponibilização dos principais macro e micronutrientes

Partindo do pressuposto da solubilidade relativa do potássio (K) nas duas diferentes frentes de lavra, percebe-se que a região cuja análise petrográfica indica maior concentração de biotita (resultados da figura 4, à esquerda) promove uma maior disponibilidade (2.999 ppm) em contato com o ácido cítrico. Quanto a outra região analisada (resultados da figura 4, à direita) o mesmo elemento K foi solubilizado abaixo dos limites de quantificação (<1,0ppm) do método de análise utilizado, possivelmente esse efeito tenha relação com a mineralogia associada, o mineral microclina, o qual tem demonstrado em estudos voltados para rochagem uma dificuldade relativamente maior que a biotita em disponibilizar o K contido na sua estrutura.

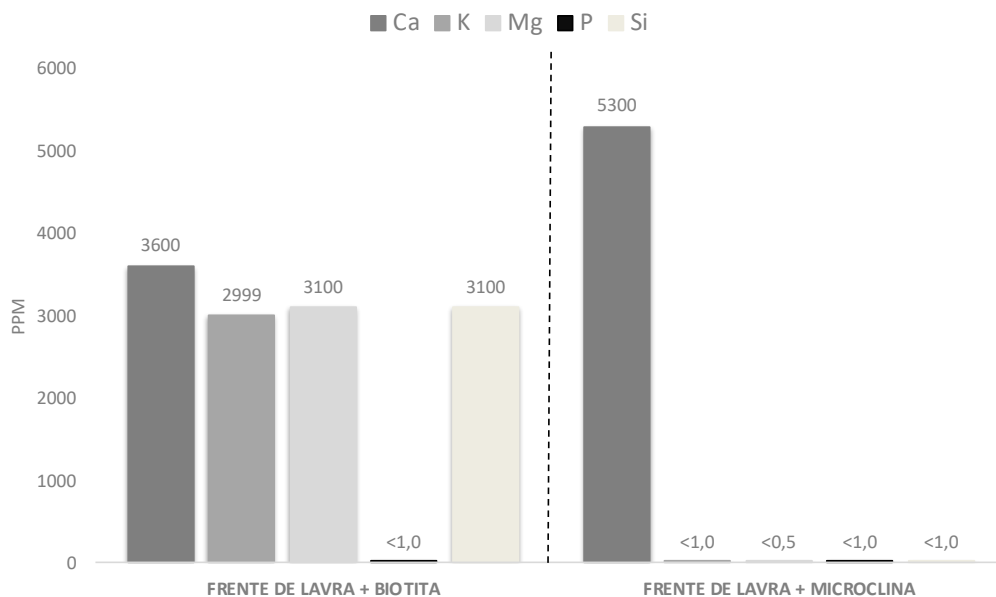


Figura 4 – Nutrientes solúveis em ácido cítrico em duas frentes de lavra: + solúvel, + biotita (à esquerda); - solúvel, + microclina (à direita).

O cálcio foi solubilizado 3600 ppm na frente de lavra com maior concentração de biotita, e 5300 ppm na região correlacionada com a microclina. O magnésio teve concentração 3100 ppm na frente de lavra com maior concentração de biotita e <0,5ppm onde havia majoritariamente microclina. O Si foi 3.100 na região com mais biotita e <1,0ppm na frente com microclina.

#### 4. CONCLUSÕES

Baseado nas análises do pó submetido ao ácido cítrico, o qual é tido como referência em estudos de disponibilização de nutrientes para as plantas, foi possível evidenciar a solubilização dos principais nutrientes – Mg, K, Ca e Si - utilizados em sistemas de plantio, podendo também contribuir para o fornecimento de micronutrientes como Co, Cu, Mn, Mo, Ni, S, Se e Zn. Os dados mineralógicos laboratoriais e de campo, juntamente com as análises químicas da campanha de sondagem, embasaram um arcabouço da geologia da mina de forma a identificar regiões preferenciais de minerais, cujos resultados de solubilidade demonstram maior eficiência da biotita em relação a microclina.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileiro n°. 10004, Classificação de Resíduos, NBR 10004.

BRASIL MINERAL – Disponível em: <http://www.brasilmineral.com.br/noticias/como-reduzir-depend%C3%Aancia-de-importa%C3%A7%C3%B5es> – Acesso em: 05/03/2018, 2017.

LAPIDO-LOUREIRO F.E, MELAMED R., FIGUEIREDO NETO J. Editores, Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade, CETEM / PETROBRAS, 656p. 2009.

LEONARDOS O.H., THEODORO S.H., ASSAD M. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian view point. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht 2000; 56(1);3-9.

MARTINS, E.S., OLIVEIRA C.G., RESENDE A.V., MATOS M.S.F. 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.

SOUZA F.N.S., ALVES J.M., D'AGOSTINI L.R., PINHEIRO O.N., NAOE L.K., ALMEIDA V.R. Potencial de rejeito mineral na produção de grãos. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1; 2010.Set 289-295; Brasília, Brasil. Anais... Planaltina: EMBRAPA Cerrados.

STRAATEN P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. Anais da Academia Brasileira de Ciências 2006; 78(4);731-747.