



AVALIAÇÃO DE RESÍDUO DE PEDREIRA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS: CARACTERIZAÇÃO E LIBERAÇÃO DE MACRONUTRIENTES

Lucas da Silva Ribeiro

Mário Jorge Mello Ibrahim Fernandes

RESUMO: Neste trabalho foi avaliado um resíduo proveniente de uma mineradora frente as especificações de natureza física e requisitos mínimos estabelecidos na Instrução Normativa nº 5 do MAPA para remineralizadores, além do potencial de dissolução dos macronutrientes P, K, Ca e Mg contidos neste através do emprego de soluções extratoras. Através da caracterização tecnológica foi observado que a maior parte da massa do resíduo permaneceu na fração farelo (52,99%) e pó (47,01%). O resíduo de pedreira apresentou teores de CaO, MgO e K₂O de 6,85; 5,73 e 1,94%, respectivamente. Uma parcela de SiO₂ (11,90%) livre foi observada no resíduo. As soluções extratoras mais eficientes em termos de dissolução dos macronutrientes em ordem foram: mehlich-1 > ácido cítrico > água deionizada. Os melhores resultados de dissolução proporcionaram somente uma solubilização de aproximadamente 21,76% de P, 6,75% de Ca, 7,59% de K e 10,34% de Mg do total destes macronutrientes contidos na matriz sólida deste resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Remineralizador, Resíduo Sólido, Liberação, Extratores.

INTRODUÇÃO

Muitos resíduos sólidos provenientes do setor de mineração que são considerados como subprodutos do processo de extração e beneficiamento de minerais estão sendo utilizados como fontes de macro e micronutrientes em algumas culturas na agricultura. Embora muitas vezes considerados rejeitos, esses resíduos contêm minerais que, quando tratados e processados corretamente, podem, em alguns casos, enriquecer o solo de maneira eficaz. Estes resíduos podem ser considerados como fontes alternativas à utilização de fertilizantes, e são chamados de remineralizadores de solos (Brasil, 2024).

No Brasil, isso é motivado pela alta demanda de importação de fertilizantes que interferem no agronegócio brasileiro, acabando por tornar o produto nacional menos competitivo no mercado. Além disso, em países onde há predominância de clima tropical e, consequentemente, solos intemperizados, fertilizantes caracterizados pela alta solubilidade apresentam baixa eficiência devido ao célebre fenômeno da lixiviação. Portanto, os remineralizadores surgem como um novo insumo para o meio agrícola, servindo como fonte alternativa/ suplementar e possivelmente menos onerosa se comparada com fertilizantes.

Além disso, os remineralizadores são materiais que devido a sua origem mineral, e redução do tamanho de partícula, apresentam teores de macro e micronutrientes essenciais ao solo capazes de alterar as suas características físico-químicas aumentando assim a sua fertilidade. Para isto, a amostra deve ser submetida a uma série de procedimentos descritos pela Instrução Normativa nº 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a fim de garantir as especificações mínimas (Brasil, 2016).

A inserção deste tipo de material no mercado também traz consigo o potencial econômico para os cultivos orgânicos, pois são considerados recursos naturais e tratar-se de uma prática de reuso de resíduos ao invés da adição de químicos. Uma vez que o processo de intemperismo se dá de maneira extremamente lenta em condições naturais, é necessário compreender a dinâmica das reações que afetam as taxas de dissolução mineral (Korchagin et al., 2016). Dentre os fatores que afetam essa reação de solubilização há, por exemplo, a composição química e mineralógica; e, para avaliar esse potencial, diferentes tipos de soluções extratoras são utilizados em estudos experimentais para dissolver os elementos químicos que compõe os resíduos.

Ensaios envolvendo ácidos orgânicos de baixos pesos moleculares para dissolução dos macro e micronutrientes são comuns pois retratam um ambiente de intemperismo ou o meio reacional presente no solo, por exemplo, durante a absorção de nutrientes pelas plantas. Dentre os ácidos mais comuns encontrados no solo estão o cítrico, oxálico e acético (Dakora e Phillips, 2002).

No presente trabalho, a amostra de resíduo foi submetida a ensaios de caracterização como distribuição granulométrica, fluorescência de raios X e difração de raios X. Além disto, a avaliação da liberação dos macronutrientes K, Ca, Mg e P nas diferentes soluções extratoras (água deionizada, ácido cítrico e mehlich-1).

OBJETIVO

Avaliar a dissolução de macronutrientes contidos numa amostra de resíduo de pedreira visando seu uso como remineralizador de solos. Avaliar os ensaios de caracterização granulométrica da amostra de resíduo, determinação dos teores dos

óxidos que constituem a amostra de resíduo através da análise de fluorescência de raios-X (FRX), identificar as principais fases mineralógicas que constituem a amostra de resíduo através da análise de difração de raios-X (DRX) e quantificar a liberação dos macronutrientes K, Ca, Mg e P contidos na amostra de resíduo através do emprego das soluções extratoras.

METODOLOGIA

Obtenção e Preparação da Amostra

A amostra de resíduo de granito utilizada no presente estudo adveio da empresa Pedreira Araguaia Ltda, localizada em Goiás. Seu condicionamento consistiu no uso de bombonas de 25 L e, em sequência, foi encaminhada para o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), no Rio de Janeiro, onde ocorreu os preparativos visando evitar discrepâncias com relação a heterogeneidade da mesma. O processo consistiu na disposição de toda amostra em bandejas de aço inox e levadas a uma estufa para secagem a 60 °C num período de 24 h, seguida pela homogeneização em uma pilha cônica e coleta de subamostras que equivalem a, aproximadamente, 5 kg por meio de uma pilha tronco piramidal.

Caracterização Tecnológica

Tendo em vista os termos do Anexo I da Instrução Normativa nº 5 do MAPA, uma das subamostras foi submetida a análise granulométrica e posterior pesagem do material retido para determinação da distribuição granulométrica. Este processo contou com o auxílio de um agitador de peneira Ro Tap, adotando a agitação de 1200 rpm num período de 20 minutos; e com o suporte de seis peneiras, cujas aberturas são de 4,80; 2,80; 2,00; 0,85 e 0,30 mm.

A determinação química quantitativa elementar que compõe a amostra de resíduo foi realizada por análise de Fluorescência de Raios X (FRX) em um equipamento *PanAnalytical*, modelo AXIOS MAX, utilizando o método *standardless* (análise semiquantitativa) para leitura da amostra. O preparo dessa amostra ocorreu por fusão na diluição de 1 para 10 utilizando como fundente a mistura de boratos ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – LiBO_2) da *Maxxifluxi*. A análise de FRX determinará os valores dos óxidos que fazem parte da soma de bases (CaO , MgO , K_2O) e do teor de K_2O mínimos para serem considerados como remineralizadores de solo.

O difratograma de raios X foi obtido pelo método do pó em um equipamento *Bruker-D4 Endeavor*, com as seguintes condições de operação: radiação Co Ka (35 KV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2θ por passo com tempo de contagem

de 1 segundo por passo e coletados de 5 a 80º 2θ. A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 em software *Bruker Diffrac^{Plus}*. O cálculo para a determinação do teor de SiO₂ livre (quartzo) presente na amostra foi realizado pelo método de refinamento de espectro multifásico total (Método Rietveld), com software *Bruker AXS Topas*, v. 3.0.

Ensaios de Dissolução dos Macronutrientes Contidos no Resíduo

Os fatores que afetam a liberação dos macronutrientes contidos no resíduo foram examinados em escala de bancada. Todos os ensaios foram realizados em frascos erlenmeyer de 250 mL, empregando um volume de solução extratora de 100 mL (água deionizada, ácido cítrico 0,1 mol.L⁻¹ e mehlich – mistura de HCl 0,025 mol.L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol.L⁻¹), velocidade de rotação de 250 rpm em uma plataforma de rotação horizontal (MARCONI MA-420). Para avaliar o comportamento de dissolução dos macroelementos contidos no resíduo, foram definidos alguns parâmetros como: (i) concentração inicial de resíduo (5,0 g); (ii) tamanho de partícula (filler); (iii) tempo de contato ou equilíbrio (0,5 a 24 h); (iv) solução extratora; e (v) temperatura (25 °C).

Após cada ensaio realizado, a massa de resíduo foi filtrada através de um kit de filtração (MILLIPORE ESTERIFIL) utilizando uma membrana de acetato de celulose com diâmetro de 47 mm e porosidade de 0,45 µm (UNIFIL) para que a solução extratora seja coletada e enviada para análise da concentração dos macroelementos K, Ca, Mg e P através do método de espectrofotometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando o equipamento modelo Optima 7300 DV (PerkinElmer). Foram utilizados como controle dos ensaios, brancos contendo somente a solução extratora, com o objetivo de reduzir o efeito de possíveis elementos traço contidos nestas soluções.

RESULTADOS

Distribuição Granulométrica

Para a classificação granulométrica, foi realizada a avaliação do resíduo com base no artigo 4º da Instrução Normativa nº 5 para Remineralizadores, que descreve a especificação quanto a natureza física das partículas em filler, pó e farelo (Tabela 1):

Tabela 1. Especificações de natureza física dos remineralizadores (Brasil, 2016)

Especificação de Natureza Física	Garantia Granulométrica	
	Peneira	Partículas Passantes (p/p)
Filler	0,30 mm (ABNT nº 50)	100%
Pó	2,00 mm (ABNT nº 10)	100%
	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo
	0,30 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo
Farelo	4,80 mm (ABNT nº 4)	100%
	2,80 mm (ABNT nº 7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT nº 20)	25% máximo

Na Tabela 2 é apresentado a distribuição da massa acumulada das partículas da amostra nas diferentes frações granulométricas. Sendo possível identificar que 43,68% da massa total que compõe o resíduo é farelo (99,55% passante em 4,8 mm; mínimo 80% em 2,8mm; e máximo de 25% em 0,84 mm), e 45% como filler (100% passante em 0,3 mm).

Tabela 2. Distribuição da massa acumulada passante nas diferentes frações granulométricas

Tamanho (mm)	Percentual (%)	Massa Acumulada Passante (%)
> 4,8	0,45	99,55
< 4,5 e > 2,80	5,48	94,07
< 2,8 e > 2,00	9,82	84,25
< 2,0 e > 0,84	28,38	55,87
< 0,84 e > 0,30	10,88	44,99
< 0,30	44,99	0
Total	100	

Nesse contexto, a fim de obter uma maior quantidade de partículas passantes na peneira de 0,30 mm e, consequentemente, aumentar a porcentagem da fração classificada como filler, o emprego de processos de cominuição apresenta-se como uma alternativa viável. Isso porque a redução do diâmetro das partículas pode favorecer a liberação dos nutrientes, aumentando então a eficiência do processo.

Segundo Dalmora *et al.* (2020), o tamanho das partículas da rocha está diretamente ligado à sua área de superfície reativa, que tende a aumentar à medida que o diâmetro das partículas diminui. No entanto, a relação entre a taxa de intemperismo e a superfície específica não é necessariamente direta ou proporcional, pois envolve diversos fatores. De modo geral, espera-se que partículas menores possuam uma maior área superficial exposta ao meio, o que favorece a liberação de nutrientes.

Fluorescência de Raios X

A Tabela 3 mostra os resultados de identificação dos principais óxidos contidos na amostra. Avaliou-se os resultados comparando com os estipulados na Instrução Normativa nº 5 de 2016, em que devem ser respeitados a soma de bases (CaO, MgO, K₂O) igual ou superior a 9% (p/p), e teor de Óxido de Potássio (K₂O) iguais ou superior a 1% (p/p). Além disto, podendo também serem declarados nos remineralizadores se houverem teores mínimos do macronutriente potássio na forma de P₂O₅ de 1% (p/p) e outros micronutrientes presentes identificados no resíduo.

Tabela 3. Percentuais dos principais óxidos identificados no resíduo

Teor (%)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	LOI*
56,6	15,8	8,29	6,85	5,73	0,87	0,22	3,2	1,94	0,15	0,3

*perda por calcinação

É possível identificar que o resíduo apresentou um teor de K₂O superior a 1% (1,94%), e, sendo um elemento que desempenha papel vital em vários processos fisiológicos e metabólicos na planta, incluindo fotossíntese, acúmulo de açúcares e crescimento e desenvolvimento geral da planta (Dias, 2022). A soma de bases, em função ao estipulado na norma (9%), apresentou valor superior de 14,52%, mostrando que o resíduo apresenta potencial de corrigir a acidez do solo, liberando macronutrientes como Ca e Mg, e diminuindo a biodisponibilidade do Al e Mn que em condições ácidas aumentariam suas concentrações, e como consequência potencializariam o efeito fitotóxico nas plantas. Em relação ao teor de fósforo (P₂O₅) de 0,22% identificado no resíduo, acabou não se enquadrando no valor mínimo de 1% que poderiam ser declarados na composição dos remineralizadores.

Difratometria de Raios X

De acordo com a Instrução Normativa nº 5, não serão registrados no MAPA remineralizadores que contiverem quantidade livre de SiO₂ presente no produto com mais de 25% (v/v). De acordo com Filho (Filho, 2009) o quartzo apresenta alta estabilidade e sofre intemperismo de forma lenta. Por esse motivo, não é considerado uma fonte significativa de ácido silícico (H₄SiO₄ ou Si(OH)₄) disponível. A Tabela 4 apresenta os percentuais das principais fases minerais identificadas no resíduo.

Os minerais que compõem a amostra (Tabela 4) podem ser divididos em minerais carbonatos e silicatos. Para os silicatos o percentual de SiO₂ livre (11,9%) encontra-se abaixo do valor máximo recomendado. O percentual mais significativo foi o de

albita (58,6%) – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, um tectossilicato, assim como microclina/ortoclásio – KAlSi_3O_8 , mas em menor proporção, correspondendo a 2,6% / 5,7%. No grupo filossilicato, foram identificados os minerais muscovita – $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$, biotita – $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}_{2+})_3(\text{Al},\text{Fe}_{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$, e caulinita – $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$, com 5,2; 4,9 e 0,5%, respectivamente. Por sua vez, no grupo inossilicato, os minerais hornblenda – $(\text{Na},\text{K})_{0,1}\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Ti})_5(\text{Si}_6\text{Al}_2)_8(\text{OH},\text{O})_{22}$, correspondendo a 3,9% e actinolita – $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ com 3,5%. Os carbonatos identificados foram a calcita – CaCO_3 e dolomita – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, com 0,4% e 2,8%, respectivamente.

Tabela 4. Percentuais das fases minerais identificadas na amostra

Mineral	(%)
Actinolita	3,5
Albita	58,6
Biotita	4,9
Calcita	0,4
Caulinita	0,5
Dolomita	2,8
Hornblenda	3,9
Microclina	2,6
Muscovita	5,2
Ortoclásio	5,7
Quartzo	11,9
Total	100

Martins *et al.* (2010) destacam que os minerais silicáticos possuem potencial tanto como fontes de nutrientes minerais quanto como condicionadores do solo, devido à presença de macronutrientes como potássio (K) e fósforo (P), além de nutrientes secundários essenciais, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) e enxofre (S). Van Straaten *et al.*, (2010)apontam que esses materiais liberam nutrientes de forma controlada, promovendo a formação de minerais que contribuem para a melhoria da qualidade do solo.

Dissolução dos Macronutrientes P, K, Ca e Mg F

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das liberações dos macronutrientes P, K, Ca, Mg da amostra de resíduo, para as soluções extratoras água deionizada, ácido cítrico, mehlich-1, em intervalos de tempo de 0,5 a 24 h. Os resultados demonstram que soluções extratoras mais ácidas desencadeiam maiores liberações dos macronutrientes.

Tabela 5. Concentrações de P, K, Ca e Mg solubilizados a partir do resíduo através dos extratores

Tempo (h)	Água Deionizada				Ácido Cítrico				Mehlich-1			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
(mg.L ⁻¹).....											
0,5	0,02	3,17	9,44	1,23	13,45	17,45	67,87	8,06	42,65	40,32	159,42	29,06
1	0,02	3,47	10,37	0,93	16,91	19,4	75,62	9,92	43,12	40,82	154,4	31,0
2	0,02	4,85	11,76	1,06	24,63	24,46	93,7	15,73	45,87	43,49	160,2	50,01
12	0,02	7,09	12,38	1,56	36,23	32,1	122,9	44,33	47,89	61,4	98,47	171,7
24	0,02	8,27	16,83	1,64	39,61	38,03	140,6	69,46	47,97	61,0	102,5	178,7

As maiores liberações observadas de K foram obtidas no intervalo de tempo de mistura de 24 h, em concentrações para água deionizada, ácido cítrico e mehlich-1 de 8,27; 38,03 e 61,00 mg.L⁻¹, respectivamente. A extração observada no tempo de 24 h para a solução extratora mehlich-1 foi de 7,59%, com um teor de 1,94% de K₂O, resultado superior ao encontrado por Duarte et al., (2021) ao adotar no estudo um resíduo de sienogranito, que apresentou um teor de K₂O de 6,78% e uma liberação na faixa de 3,0% aproximadamente.

Em função dos macronutrientes Ca e Mg, foram obtidos valores de liberação para o máximo período de solubilização (24h), de 16,83 e 1,64 mg.L⁻¹ para água deionizada; 140,6 e 69,46 mg.L⁻¹ para ácido cítrico; 102,5 e 178,7 mg.L⁻¹ para Mehlich-1, respectivamente. De acordo com Castro e Crusciol, (2015) há materiais que podem ser aplicados afim de corrigir a acidez do solo, onde atuam como componentes neutralizantes aumentando o pH, dentre eles podemos citar os óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO).

Para Potássio (P), foram obtidos os menores valores de liberação em função dos demais nutrientes analisados. A razão para tal fenômeno pode ser explicada pelo teor de P₂O₅ presente no resíduo de apenas 0,22%. Os maiores valores foram alcançados no período de 24h, onde para as soluções extratoras água deionizada, ácido cítrico e mehlich-1 houveram liberações de 0,02; 39,61 e 52,41 mg.L⁻¹, respectivamente. De acordo com Rodrigues et al. (2021) a fração disponível dos teores de P é estimulado devido a competição do Si e P pelos pontos de sorção nos colóides do solo no caso de minerais que tem como um de seus constituintes o silicato.

CONCLUSÕES

Mediante aos resultados, pode-se concluir que o resíduo de pedreira alcançou as especificações e requisitos mínimos estabelecidos na Instrução Normativa nº 5 do MAPA para remineralizadores de solo quanto ao critério de soma de bases

(CaO, MgO, K₂O) e teor de óxido de potássio (K₂O), assim como o teor de quartzo (SiO₂), apresentando especificação quanto a natureza física entre farelo e pó. As principais fases minerais que constituem o resíduo foram albita, quartzo, ortoclásio, muscovita e biotita. As soluções extratoras mais eficientes em termos de dissolução dos macronutrientes em ordem foram: mehlich-1 > ácido cítrico > água deionizada. Os melhores resultados de dissolução proporcionaram uma solubilização de aproximadamente 21,76% de P, 6,75% de Ca, 7,59% de K e 10,34% de Mg do total destes macronutrientes contidos na matriz sólida deste resíduo. A partir destes, e de acordo com a Instrução Normativa nº 5 do MAPA para remineralizadores, o próximo passo é realizar os ensaios agronômicos para constatar as eficiências de liberações desses nutrientes em culturas.

REFERÊNCIAS

- Brasil (2024). Da Mineração à Mesa: entenda como insumos minerais e seus resíduos podem gerar soluções sustentáveis para o solo. Ministério de Minas e Energias. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/da-mineracao-a-mesa-entenda-como-insumos-minerais-e-seus-residuos-podem-gerar-solucoes-sustentaveis-para-o-solo>
- Brasil. (2016). Remineralizadores e Substratos para plantas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf/view>
- Castro, G. S. A.; Crusciol, C. A. C. (2015). Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. *Bragantia*, 74(3), 311–321. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0346>
- Dakora, F. D.; Phillips, D. A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil*, v. 245. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1020809400075>
- Dalmora, A. C.; Ramos, C. G.; Plata, L. G.; da Costa, M. L.; Kautzmann, R. M.; Oliveira, L. F. S. (2020). Understanding the mobility of potential nutrients in rock mining by-products: An opportunity for more sustainable agriculture and mining. *Science of The Total Environment*, 710, 136240. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.136240>
- Dias, R. C. (2022). Potencial e Eficiência da Utilização de Rochas Silicáticas como Fonte de Potássio na Agricultura. Instituto de Agronomia, Teses de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/20268>

Duarte, E. B.; Nascimento, A. P. S.; Gandine, S. M. S.; Carvalho, J. R.; Burak, D. L.; Neves, M. A. (2021). Liberação de potássio e sódio a partir de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais. *Pesquisas em Geociências*, 48(1). Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.22456/1807-9806.101373>

Filho, O. F. L. (2009). História e Uso do Silicato de Sódio na Agricultura. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/696871>

Korchagin, J.; Trois Abreu, C.; Dalacorte, L.; Tonini, V.; Muller, R.; Caner, L.; Bortoluzzi, E. C. (2016). Atributos químicos de solos agrícolas submetidos à aplicação de pó-de-basalto hidrotermalizado e efeitos na produção vegetal. *Gemas, Joias e Mineração: Pesquisas Aplicadas no Rio Grande do Sul*, Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4652.8886>.

Martins, E. S.; Resende, A. V.; Oliveira, C. G.; Neto, A. E. F.; Peter, V. S. (2010). Agrominerais para o Brasil. Centro de Tecnologia Mineral. Disponível em: <https://www.gov.br/cetem/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/projetos-financiados-por-agencias-e-ou-recursos-publicos/encerrados/agrominerais-para-biocombustiveis-2009-2010/agrominerais-para-o-brasil/novolivro/cap1.pdf>

Rodrigues, M.; Nanni, M. R.; Silveira, C. A.P.; Cezar, E.; Santos, G.L.A.A.; Furlanetto, R.H.; Oliveira, K. M.; Reis, A.S. (2021). Mining Co-products as Sources of Multi-nutrients for Cultivation of *Brachiaria ruziziensis*. *Natural Resources Research*, 30(1), 849–865. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11053-020-09745-w>

Straaten, P. Van. (2010). Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. In: Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, Cap.13, p.235-264. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/927>