

## CARACTERIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA VULCÂNICA PARA USO EM ROCHAGEM NO NORDESTE DO RIO GRANDE DO SUL

**KAUTZMANN, R.M.<sup>1</sup>, OLIVEIRA, C.<sup>2</sup>, TAFFAREL, S.<sup>3</sup>, RAMOS, C.G.<sup>4</sup>, SYDNEY, S.<sup>5</sup>, SILVA, L.F.O.<sup>6</sup>, BORBA, R.F.<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>Centro Universitário La Salle - Unilasalle. rubensm@unilasalle.edu.br

<sup>2</sup>Centro Universitário La Salle - Unilasalle. cristiane.rodrigues@unilasalle.edu.br

<sup>3</sup>Centro Universitário La Salle - Unilasalle. silvio.taffarel@unilasalle.edu.br

<sup>4</sup>Centro Universitário La Salle - Unilasalle. claudeterms@brturbo.com.br

<sup>5</sup>Centro Universitário La Salle - Unilasalle. sabedot@unilasalle.edu.br

<sup>7</sup>DNPM-RS Departamento Nacional da Produção Mineral. roberto.borba@dnpm.gov.br

### RESUMO

Realizou-se a caracterização química, mineralógica e de disponibilidade de nutrientes minerais em quatro amostras de material fino gerado em usinas de britagem. Todas as amostras são originárias de rochas da Formação Serra Geral, nordeste do RS, de composição petroquímica predominantemente de intermediária à básica. As análises visando investigar a qualidade agronômica dessas rochas, pulverizadas para aplicação na técnica de rochagem, objetivando a fertilização de solo mediante a incorporação de pó de rocha. As técnicas analíticas utilizadas foram: difração de Raios – X, espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICPMS) e qualidade agronômica. Também foram realizados ensaios de extração, empregando a metodologia de extração com ácido cítrico (diluído a 2%) em colaboração de análise com a Central Analítica da EMBRAPA Clima Temperado - Pelotas/RS. Os resultados mostraram a potencialidade da aplicação em rochagem, dadas as características da composição com conteúdo relevante de Ca e Mg na forma de carbonatos, bem como alta alcalinidade. A disponibilidade de fósforo foi satisfatória e a de potássio mediana, havendo ainda micronutrientes como zinco, boro, cobre, ferro e manganês, passíveis de disponibilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** caracterização mineral; pó de rocha; basalto RS; rochagem.

### ABSTRACT

Chemical, minerals and agronomics properties were analyzed in four samples of fines material, of four crusher plants. All samples are to volcanic rock originate of formation Formação Serra Geral in the NE of RS, Brazil. The analysis aimed to research the agronomic quality of these four samples, to application in rocks for crops. The analytical techniques used were: X-ray diffraction X, mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICPMS ) and agronomic quality. Extraction tests were performed, using the methodology of extraction with citric acid (diluted to 2%) analysis in collaboration with the analytical Center of Embrapa Temperate Climate - Pelotas /RS. Already observed in other studies, the results show the potential of the application stonemeal as the following aspects: provides content of Ca and Mg in the form of carbonates and alkalinity. Showed also, a good provides of phosphorus and moderately to potassium, as well as, micronutrients such as zinc, boron, copper, iron and manganese to be available.

**KEYWORDS:** characterization; rock dust; basalto RS; rock for crops.

## 1. INTRODUÇÃO

É do conhecimento comum e científico (THEODORO, 2011; FERNANDES *et al.*, 2010) os efeitos positivos que a incorporação de pó de rocha de basalto traz a diferentes cultivos, sabidamente também na região Nordeste do RS. A rochagem, remineralização do solo ou “petrofertilização” designa a técnica de fertilização do solo empregando o processo natural de aplicação de pó de rocha (MACHADO *et al.*, 2009). A incorporação de frações minerais pulverizadas permite o rejuvenescimento do solo agrícola, na medida em que os minerais da rocha, por meio do processo de intemperismo, são alterados e os elementos agronutrientes disponibilizados ao solo. O elevado grau de moagem facilita a disponibilização dos nutrientes pela maior exposição superficial dos minerais aos agentes das reações de alteração e lixiviação.

Segundo Theodoro (2011) os basaltos estão entre as rochas mais testadas e com maiores possibilidades de fornecimento de nutrientes para o solo, especialmente fósforo, cálcio, magnésio, além de outros micronutrientes. Theodoro *et al.* (2010) analisou oito amostras de basaltos brasileiros, sendo quatro do RS, cujos resultados indicam níveis baixos de disponibilidade de  $K_2O$  e  $P_2O_5$ , mas que devem ser desconsiderados, e com maior presença nas lixívias dos nutrientes Ca, Mg e P.

Na região de estudo, exemplificada pelo Distrito Mineiro de Nova Prata (SANTOS *et al.*, 1998) encontram-se rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas. No topo e na parte mediana do platô as rochas ácidas ocorrem intercaladas com rochas básicas e intermediárias. Os solos da região do estudo são originados do intemperismo de matriz rochosa, condicionados às variações dos afloramentos das secções dos derrames. Segundo Streck *et al.* (2002), na região Nordeste do RS três classes de solos são encontradas: Latossolos Vermelhos Distróficos, em áreas de modelado de coxilhas na borda do planalto; Chernossolos Argilúvicos Férricos, nos vales e perfis de vertente de declividade moderada; os Neossolos Líticos Distróficos nas áreas de montanha e escarpa, ocorrendo também em topo de coxilhas. Esta região desenvolve culturas de cereais, vinhedos, hortifrutivegetais e atividade de silvicultura, demonstrando a pertinência e necessidade da aplicação de insumos para a adubação e a correção dos solos.

O presente trabalho mostra os primeiros resultados da pesquisa de caracterização do pó de rocha amostrados em instalações de britagem, com o objetivo de buscar a resposta à aplicação do pó de rocha de basalto no solo, visando melhorar o desenvolvimento de espécies vegetais.

O Distrito Mineiro de Nova Prata concentra a atividade de produção de pedras de talhe no RS, o que implica também em um grande passivo ambiental, pela geração de rejeitos. São empreendimentos de micro e pequeno porte, que em 2012 contavam com 235 Registros de Licença em vigor no DNPM (DNPM, 2012), não incluindo os empreendimentos irregulares e clandestinos. Este quadro gerou em 2010 um retorno de R\$ 477.730,63 às prefeituras da região, referentes somente à compensação financeira pela extração mineral (CFEM), mas podendo alcançar um aumento da adimplência em aproximadamente R\$ 1.350.000,00.

O conflito entre as atividades de mineração e as áreas de proteção permanentes (APPs) foi avaliado por Araujo *et al.*, (2010), com base em carta topográfica vetorizada na escala 1:50.000, mostrando que para o município de Nova Prata, aproximadamente 73,9% das pedreiras no ano base de 2007 encontravam-se fora de APPs.

## 2. METODOLOGIA

Quatro tipos de material gerados em usinas de britagem foram coletados para análise. Na Tabela I são apresentados os tipos e locais de origem das amostras. Três (B1, NP2 e Z1) são provenientes de pedreiras do DM Nova Prata (SANTOS *et al.*, 1998): e uma (C1) do Distrito Mineiro do Baixo Antas (KAUTZMANN *et al.*, 2009).

**Tabela I. Locais de procedência das amostras estudadas.**

Amostra	Tipo	Local	Coordenadas Datum SAD69
B 1	Pó de rocha < 0,6 mm	Casca - RS	28°36'39,38"S 51°51'33,56"W
C 1	Pedrisco	Bento Gonçalves - RS	29°07'39,30"S 51°29'37,50"W
NP 2	Pó de britagem peneira secundária	Nova Prata - RS (Locas Gramado)	28°46'27,37"S 51°38'16,61"W
Z 1	Pedrisco	Nova Prata - RS	28°45'09,20"S 51°38'38,16"W

Todas as amostras foram secas à temperatura ambiente sobre a sombra. Para a realização das análises químicas e mineralógicas, alíquotas das amostras foram pulverizadas. Para a amostra B1 não foi realizada qualquer preparação, constituindo-se em material passante na peneira 30# (0,6mm). As amostras C1, Z1 e NP2 foram peneiradas e enviadas para análise de frações 100% passantes em 0,6mm.

A análise semiquantitativa dos constituintes minerais presentes nas amostras foi realizada no Laboratório de Difractometria de Raios-X/UFRGS (difratômetro Siemens BRUKER-AXS D5000) e tratado no software DiffracPlus® Siemens-Bruker-Axs, Versão 11. As amostras ensaiadas foram previamente pulverizadas abaixo de 74 micrometros. No laboratório da Acme Labs - Acme Analytical Laboratories Ltd., Vancouver e da SGS Geosol Laboratórios Ltda. foram realizadas análises químicas pelas técnicas de ICPMS (espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado) e de fluorescência de raios X.

Com o propósito de avaliar a disponibilidade dos agronutrientes do pó de rocha, amostras não pulverizadas foram analisadas na condição de "solo" pelo Laboratório de Solos da UFRGS. Amostras semelhantes às analisadas pelo Laboratório de Solos da UFRGS foram submetidas a ensaios de extração, empregando a metodologia descrita por Theodoro, Leonardos e Almeida (2010), que utiliza a extração com ácido cítrico (diluído a 2%) para simular a condição ácida do solo na remoção de agronutrientes minerais. Na extração pelo método do ácido cítrico, transferiu-se 1,0 g de amostra para erlenmeyers de 250 mL e adicionaram-se 100 mL de ácido cítrico contendo 20 g/L. A solução foi mantida sob agitação por 30 minutos, com cerca de 30 a 40 oscilações por minuto e após esse período as soluções foram filtradas e determinadas imediatamente. As soluções de extração foram analisadas pela Central Analítica da EMBRAPA, Clima Temperado - Pelotas/RS. Os dados de concentrações de íons cálcio, magnésio, hidrônio, alumínio, potássio e manganês foram utilizados para determinar a capacidade de troca catiônica (CTC) teórica das amostras, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1999).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1. Caracterização química e mineralógica

A análise dos óxidos (Tabela II) mostra conteúdos composicionais semelhantes para as quatro amostras. Considerando tratar-se de amostras processadas sujeitas a segregação de minerais e, com base nas suas localizações e classificação de Nardy *et al.* (2008), estas podem ser classificadas com rochas vulcânicas ácidas do grupo Palmas. Entre os óxidos simples ressalta-se a maior presença de SiO<sub>2</sub> devido a predominância dos silicatos e alumino silicatos.

**Tabela II. Composição química dos elementos maiores na forma de óxidos das amostras de pó de rocha.**

Óxidos	B 1 (%)	C 1 (%)	NP 2 (%)	Z 1 (%)
SiO <sub>2</sub>	65,1	66	63,8	65,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,21	13,14	13,66	12,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,99	6,86	7,52	6,98
CaO	3,94	3,54	2,65	3,92
K <sub>2</sub> O	3,58	3,75	3,26	3,52
Na <sub>2</sub> O	3,34	3,19	2,65	3,25
MgO	1,42	1,39	1,16	1,48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,25	0,23	0,26
MnO	0,12	0,12	0,19	0,13

Na composição de elementos traços encontrou-se concentrações da ordem de partes por milhão (ppm) conforme Tabela III. As composições apresentadas nas Tabelas II e III apenas indicam a existência do elemento, no entanto sua disponibilidade agrônômica depende da reatividade destes nos minerais ou massa mineral que os contém.

**Tabela III. Composição química de elementos traços das amostras de pó de rocha por ICPMS.**

Elementos traços	B 1 (ppm)	C 1 (ppm)	NP 2 (ppm)	Z 1 (ppm)
Boro – B	4,00	3,00	3,00	2,00
Cobalto – Co	45,50	7,30	26,50	7,30
Cobre – Cu	51,05	49,15	70,16	49,90
Enxofre – S	< 200	< 200	< 200	< 200
Manganês – Mn	388	351	1.076	381
Molibdênio – Mo	0,35	1,24	0,67	0,90
Níquel – Ni	3,20	4,10	5,50	2,90
Zinco – Zn	48,40	48,60	57,30	44,40

Segundo Nardy *et al.* (2008) o conteúdo amorfo presente nas rochas do tipo Palmas está em torno de 63%. A técnica utilizada para determinação mineral, por DRX não detecta este material, implicando que os resultados do conteúdo de minerais cristalinos é relativo a proporção de 47% da massa mineral nas amostras, apresentadas na Tabela IV. Na fase cristalina observa-se a predominância da labradorita indicando afinidade química cálcica das rochas estudadas e em menor grau a presença de quartzo. Algumas amostras apresentam proporções interessantes de alguns argilominerais como a esmectita e a caulinita. A presença de gesso (gipsita) pode ser tanto natural como de fonte externa, pelo fato de existir próximo ao local de coleta uma usina de concreto. Em todo caso, é uma contaminação benéfica, pois o gesso é um suprimento de enxofre e cálcio interessante à rochagem, sendo mais reativo que a barita.

**Tabela IV. Principais espécies minerais presentes na fase cristalina nas amostras, analisadas por Difração de Raios X.**

Mineral	B1	C1	NP2	Z1
Labradorita	34,5	24,0	24,4	28,7
Quartzo	4,2	8,9	7,1	6,1
Augita	2,8	-	5,6	6,1
Feldspato alcalino	2,4	7,1	-	-
Esmectita	1,4	3,3	4,7	-
Barita	0,9	1,4	1,9	1,9
Hematita	0,5	0,5	0,9	0,9
Heulandita	0,2	-	-	-
Gipsita	-	1,9	-	-
Caulinita	-	-	2,4	3,3
Soma	47	47	47	47

Conhecendo as fases cristalinas é possível avaliar, com base no comparativo descrito por Krauskopf (1972), as diferentes reatividades dos minerais do pó sob a ação dos agentes de intemperismo, quando incorporado ao solo. Os minerais foram classificados em quatro categorias de reatividade: minerais não reativos (quartzo e hematita); pouco reativos (barita e caulinitas); reativos (labradorita, augita e feldspato alcalino); muito reativos (esmetita e heulandita). A Tabela V apresenta a distribuição dos minerais de cada amostra, considerando o potencial de reatividade dos mesmos.

**Tabela V. Classificação da potencialidade de reatividade para disponibilização de agronutrientes dos pós de rocha estudados.**

Classe mineral	B 1 (%)	C 1 (%)	NP 2 (%)	Z 1 (%)
Não reativos	4,7	9,7	8	7,1
Fraca reatividade	0,9	1,3	4,2	5,2
Reativos	39,7	30,9	30,1	34,7
Muito Reativos	1,6	5,1	4,7	0

Espera-se que em virtude da maior predisposição de feldspato e piroxênio estes venham a alterar-se em argilominerais, e com isto disponibilizando nutrientes vegetais, como também contribuindo para no aumento do pH do solo e da capacidade de troca catiônica (CTC) que é dependente dos argilominerais a serem formados. Quanto à massa mineral amorfa das rochas vulcânicas, segundo Nardy *et al.* (2008), esta altera-se com maior facilidade, o que permitiria incluí-la também como “Reativa”.

### 3.2. Caracterização da disponibilidade de nutrientes

Neste sentido, correlaciona-se a grande presença dos minerais de maior climatização nas amostras estudadas (KRAUSKOPF, 1972) com os níveis de nutrientes identificados nas análises de solo apresentadas na Tabela VI. O pó de rocha, apesar de não ser classificado como solo, foi submetido como tal à análise das suas características agronômicas no Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia da UFRGS, cujos resultados estão apresentados na Tabela VI.

**Tabela VI. Teores de agronutrientes disponíveis nas amostras de pó de rocha e propriedades agronômicas.**

Elementos	B 1	C 1	NP 2	Z 1
Alumínio (%)	0	0	0	0
Cálcio (%)	0,1	0,11	0,12	0,12
Magnésio (ppm)	1,0	1,1	2,2	0,9
Manganês (ppm)	3,0	2,0	6,0	2,0
Fósforo (ppm)	>100	>100	>100	>100
Potássio (ppm)	152	59	104	76
Boro (ppm)	0,2	0,2	0,2	0,2
Cobre (ppm)	8,4	4,0	2,2	4,8
Enxofre (ppm)	1,4	1,3	139	1,8
Zinco (ppm)	1,6	1,7	1,9	1,8
pH	7,7	8,6	6,7	8,6
CTC ( cmol/dm <sup>3</sup> )	8,79	8,95	11,6	9,49
Argila (%)	12	6	51	6

Para a classificação de qualidade agronômica dos resultados utilizou-se a interpretação de Malavolta (1992), aplicada para solos do Rio Grande do Sul. Neste trabalho, os teores dos agronutrientes são classificados em: limitante, muito baixo, baixo, médio, suficiente e alto. A partir destes teores elaborou-se a Tabela VII para os resultados de análises realizados no Laboratório de Solos da UFRGS.

**Tabela VII. Classificação da qualidade agronômica com base em Malavolta (1992) para os teores de agronutrientes a partir da análise no Laboratório de Solos da UFRGS.**

	B 1	C 1	NP 2	Z 1
Fósforo (P)	alto	alto	alto	alto
Potássio (K)	alto	médio	suficiente	médio
Cálcio (Ca)	alto	alto	alto	alto
Mg (Mg)	médio	médio	médio	alto
Enxofre (S)	médio	médio	alto	médio
Boro (B)	médio	médio	médio	médio
Zinco (Zn)	alto	alto	alto	alto

Esta avaliação mostra valores interessantes de disponibilidade de nutrientes pelos pós de rocha analisados. Destacam-se como pontos positivos o elevado pH do pó de rocha, entre 6,7 e 8,6 (o que não agravaria a condição normalmente ácida dos solos da região de estudo) e conseqüente inexistência de cátion alumínio trocável  $Al_{\text{troc}}$ , elemento tóxico e inibidor da atividade de troca catiônica dos argilominerais. Apesar dos valores significativos de nutrientes das amostras, os valores de CTC são baixos. Esta condição pode ser atribuída à pequena quantidade de argilominerais nas amostras analisadas, com exceção da NP2.

Pode-se também simular as condições de reatividade dos minerais em solo empregando ácido cítrico a 2% (THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010). Os ácidos orgânicos, em especial o ácido cítrico, são comumente exsudados pelas raízes das plantas, permanecendo em alta concentração na rizosfera (SONG, HUANG, 1988). Estes ácidos apresentam alta capacidade de interagir com metais, formando complexos orgânico-metálicos na solução do solo e induzindo as liberações dos nutrientes pelos minerais do solo (MARTIN, SPARKS, 1983; MELO *et al.*, 1995). A Tabela VIII apresenta os resultados desta extração para os elementos K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn.

**Tabela VIII. Teores de agronutrientes extraídos de 1 g de amostras pela lixiviação em 100 ml de solução de ácido cítrico a 2%.**

Elementos	B 1 (ppm)	C 1 (ppm)	NP 2 (ppm)	Z 1 (ppm)
Cálcio	237	119,4	282,2	11,3
Cobre	6,1	13,9	11,3	14,4
Ferro	387,9	418	601,5	576,7
Magnésio	6,52	2,71	13,47	10,37
Manganês	86,6	46,1	200,3	181,5
Potássio	7,81	1,43	9,96	0,39
Zinco	3,53	9,55	9,83	7,4

Os ensaios de extração com ácido cítrico diluído a 2%, como esperado, não coincidiram com os resultados da análise agronômica clássica. As extrações de Ca, Mg e K com ácido cítrico diluído foram menores em comparação a análise agronômica, enquanto o Cu e Zn apresentaram extrações semelhantes aos dois métodos.

#### 4. CONCLUSÕES

As características e propriedades de liberação de nutrientes vegetais observadas neste trabalho mostraram a potencialidade das amostras de rocha cominuídas para utilização em condicionamento de solos. Como aspectos positivos para aplicação em rochagem dos pós de rocha analisados se pode citar: 1) a predominância da fase mineral reativa aos agentes de intemperismo, promovendo a boa disponibilização de nutrientes vegetais e em tempo de atuação na ordem de anos, 2) melhora na condição da alcalinidade do solo; 3) isenção de alumínio trocável. A propriedade agronômica de menor contribuição é a CTC, sendo que a melhoria deste indicativo em períodos mais longos, ainda merece maiores estudos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio em recursos ao projeto, ao Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata e DNPM pelo apoio técnico e de logística, e às empresas Basel Ind. e Com. de Minerais, Coneresul Britagem e Zilli Basalto e Britagem, pelo apoio no custeio das análises. Ao Engº Agrônomo Carlos Augusto Posser Silveira e à Química Mariana da Luz Potes e à Embrapa Clima Temperado pela realização de análises químicas e importantes conselhos na condução desta pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. B. B., KAUTZMANN, R. M., HASENACK, H., ROTERT A. Mapeamento de Potencialidade Ambiental da Extração de Basalto em Nova Prata – RS. In: Anais: VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, PUC-RS, 2010 (CD Rom)

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. Cadastro Mineiro. Disponível em [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br). Acessado em: 31/05/2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes. Brasília Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 171-222, 1999.

- KAUTZMANN, R.M., OLIVEIRA, C., TAFFAREL, S., RAMOS, C.G., SYDNEY, S., SILVA, L.F.O., BORBA, R.F.
- KRAUSKOPF, K.B. Introdução à Geoquímica. 2ed. São Paulo, USP, v.1, 1972. 82p.
- MACHADO, R.V., ANDRADE, F.V., RIBEIRO, R.C., RODRIGUES, R.R.. Rejeitos de rochas ornamentais como corretivo alternativo e a produção de matéria seca e teores de Ca e Mg na planta e no solo. In: XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2009, Gramado, Anais....., Porto Alegre, UFRGS, 2009.
- MALAVOLTA, E.. ABC da Análise dos Solos e Folhas. São Paulo: Agronômica CERES, 1992.
- MARTIN, H.W., SPARKS, D.L. Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Coastal Plain soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:885-887, 1983.
- MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. R.Bras. Ci. Solo, 19:165-171, 1995.
- SANTOS, E.L., MACIEL, L.A.C., FILHO, J.A.Z. Distrito Mineiro de Nova Prata, Distritos Mineiros do Estado do Rio Grande do Sul. 1º Distrito – DNPM, p. 13-14, Porto Alegre, 1998.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: EMATER/RS/UFRGS, 2002.
- THEODORO, S.H., LEONARDOS, O.H., DE ALMEIDA, E.. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos; In: I Congresso Brasileiro de Rochagem, 2009, Planaltina: Anais, EMBRAPA, 2010.
- THEODORO, S.H.. Cartilha de Rochagem. Brasília: Editora Ideal, 2011.
- SONG, S.K; HUANG, P.M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:383-390, 1988.