

PLANTAS, MICORRIZAS E MICROBIOTA DO SOLO NA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE PÓS DE ROCHA

André Mundstock Xavier de Carvalho¹

Daniely de Cássia Deliberali²

Maurício Dutra Costa³

Irene Maria Cardoso⁴

Resumo

A busca por uma alternativa social, ambiental e economicamente mais vantajosa às fontes convencionais de nutrientes faz do estudo do potencial de rochas silicatadas para emprego na agricultura especialmente importante. Além disso, no Brasil tem havido uma revalorização da rochagem impulsionada pela situação de dependência estrangeira por fontes solúveis de nutrientes, o que gera demandas crescentes por pesquisas. No entanto, alguns trabalhos têm sido realizados em ambientes controlados simplificados, negligenciando a ação de organismos do solo, de fungos micorrízicos ou mesmo da planta sobre a magnitude da disponibilização de nutrientes pelas rochas. Neste sentido, conhecer o papel da planta, da microbiota do solo e dos fungos micorrízicos arbusculares na disponibilização de nutrientes de pós de rocha pode ser importante na seleção de práticas ou manejos de solo e cultura visando melhorar a utilização dessas fontes. O objetivo principal do trabalho foi, portanto, avaliar o papel da planta, da microbiota do solo e em particular dos fungos micorrízicos arbusculares na disponibilização de elementos pelos pós de charnockito, esteatito e gnaiss após cultivos sucessivos. O trabalho foi estruturado em um esquema fatorial 4x4, em blocos casualizados, em condições de casa de vegetação, sendo quatro “agentes de solubilização” (apenas a planta (A_{Zm}); planta em associação micorrízica (A_{FM}); planta em associação micorrízica e na presença de outros

¹ Professor do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba, Rio Paranaíba, MG, andre.carvalho@ufv.br; ²Mestranda em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, ddeliberali@yahoo.com.br; ³Professor do Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, mdcosta@ufv.br; ⁴Professora do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, irene@ufv.br.



microrganismos do solo (A_{Mb}) e apenas solo estéril (A_{So}) combinados com a adição das três rochas moídas na dose correspondente a 10 t ha^{-1} e um controle sem pó de rocha. Os pós de rocha aplicados demonstraram-se como fontes efetivas de nutrientes para as plantas e não restringiram a atividade biológica do solo nem a atuação dos fungos micorrízicos arbusculares. O esteatito mostrou-se como fonte expressiva de Mg e Si, o charnockito de Cu e o gnaiss e charnockito de K para as plantas. Embora a atividade biológica seja importante para a disponibilização de nutrientes de rochas, neste estudo a planta demonstrou ser igualmente capaz de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas quando comparada com a presença conjunta da planta com a microbiota do solo ou em associação micorrízica. O solo, isoladamente, demonstrou ter uma capacidade muito inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas, indicando a necessidade de mais estudos na presença de plantas em detrimento àqueles com apenas incubação em solo.

Palavras-chave: gnaiss, charnockito, esteatito, biodisponibilização

Introdução

Os fertilizantes solúveis possuem custos elevados associados ao beneficiamento e ao transporte a longas distâncias, podem criar problemas ambientais como eutrofização de águas superficiais e subsuperficiais ou liberação de gases poluentes na atmosfera (Tilman et al., 2001; Martins et al., 2010), necessitam de fontes não renováveis de energia no seu processamento e dependem da utilização de recursos minerais não renováveis, escassos e mal distribuídos entre os países (Foley et al., 2005; Fixen & Johnston, 2012). Estes problemas tem exigido a busca de alternativas e uma delas tem sido a utilização de pós de rocha.

No Brasil, rochas silicatadas comuns como gnaisses, granitos, charnockitos e basaltos, são amplamente utilizadas para diversos fins não agrícolas e os resíduos da moagem (materiais finos) podem ser aproveitados a baixos custos por agricultores como fonte de nutrientes. Contudo, a maioria das pesquisas utilizaram apenas rochas silicatadas máficas ou materiais com especial riqueza em algum macronutriente, de menor abundância e distribuição mais restrita pelo mundo (Leonardos et al., 2000; van Straaten, 2006). O estudo de outros materiais, incluindo as rochas silicatadas mais



comuns, pode incentivar a utilização de recursos locais abundantes e, assim, contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis.

As rochas silicatadas possuem maior diversidade de elementos em relação aos fertilizantes químicos solúveis, mas com uma lenta disponibilização. Esta característica é vista como a principal limitação da utilização destes materiais (Bolland & Baker, 2000). No entanto, este fato, juntamente com a composição heterogênea de nutrientes, torna-se uma opção interessante nos agroecossistemas tropicais visto que possuem solos altamente dessilificados, oxidícos e naturalmente bem drenados, o que favorece sobremaneira processos de lixiviação e de adsorção específica de elementos (Leonardos et al., 2000; Martins et al., 2010). Entretanto, para uma utilização mais generalizada de pós de rocha silicatadas na agricultura há a necessidade de pesquisas visando melhorar o aproveitamento dos nutrientes dessas fontes (Leonardos et al., 2000; Hinsinger et al., 2001; Martins et al., 2010).

Neste aproveitamento, é preciso atentar-se para práticas de manejo de solo que criem condições para a potencialização da capacidade solubilizadora dos organismos do solo em geral, e dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em particular, pois os mesmos podem exercer papéis importantes na disponibilização de nutrientes de rochas. No entanto, alguns trabalhos têm sido realizados em ambientes controlados simplificados, negligenciando a ação desses organismos, dos fungos micorrízicos ou até mesmo da planta sobre a magnitude da disponibilização de nutrientes pelas rochas.

A ação dos organismos pode ir da simples fragmentação de partículas a alterações complexas na superfície dos minerais, modificando suas características químicas. Algumas plantas podem ser muito efetivas na indução do intemperismo de silicatos (Hinsinger et al., 2001). As raízes das plantas podem aumentar a dissolução de minerais por meio de mudanças de pH na rizosfera devido à liberação de H^+ , OH^- e HCO_3^- resultantes da respiração e da absorção de íons (Neumann & Romheld, 2012). A diferença de pH na rizosfera pode chegar a duas unidades de pH em relação ao solo não rizosférico (Neumann & Romheld, 2012).

Entretanto, Wang et al. (2011) observaram que o mecanismo mais importante para aumentar a eficiência de utilização de formas não-trocáveis de K por plantas foi a capacidade de absorver K à baixas concentrações (menor C_{min} para absorção de K). Esse resultado vai de encontro ao princípio exposto por Harley & Gilkes (2000), de que a efetividade dos pós



de rocha silicatadas tende a aumentar quando os níveis iniciais de nutrientes no solo são baixos.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) também podem ser agentes importantes no intemperismo das rochas, sendo o uso de culturas altamente micorrízicas interessantes para o melhor aproveitamento de rochas silicatadas na agricultura. Além dos mecanismos baseados na liberação de ácidos orgânicos e na extrusão de H^+ , é provável que o CO_2 liberado durante a respiração fúngica possa aumentar a degradação de silicatos através do ataque do ácido carbônico. Vale lembrar que os FMAs são os componentes frequentemente majoritários da biomassa microbiana em ecossistemas agrícolas e contribuem significativamente para o aumento na liberação de CO_2 no solo (Johnson et al., 2002).

Objetivos

Diante da escassez de informações sobre o tema em solos tropicais, os objetivos deste trabalho foram avaliar o papel da planta, da microbiota do solo e, em particular, dos fungos micorrízicos arbusculares na disponibilização de elementos pelos pós de charnockito, esteatito e gnaiss após cultivos sucessivos.

Metodologia

O experimento foi montado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado e em arranjo fatorial 4 (presença ou ausência de “agentes” de solubilização - A) x 4 (presença ou ausência dos pós de rocha), com três repetições. Os tratamentos foram então denominados A_{So} (apenas solo sem cultivo de milho), solo cultivado com milho (A_{Zm}), solo cultivado com milho e inoculado com FMAs (A_{FM}) e solo cultivado com milho, inoculado com FMAs e com reintrodução da microbiota do solo (A_{Mb}). Os solos foram fertilizados ou não (apenas solo sem rocha, controle) com três rochas moídas distintas (gnaiss, charnockito e esteatito) na dose correspondente a $10 t ha^{-1}$.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos contendo o correspondente a 4 kg de solo seco, onde foram cultivadas duas plantas de milho por vaso até o início do florescimento, quando então as plantas foram cortadas e um novo cultivo realizado, totalizando três cultivos de milho.



O pó de gnaiss foi adquirido junto ao comércio local, sendo obtido pela separação das frações finas resultantes da moagem da rocha para obtenção de brita para a construção civil. O charnockito (uma variedade de hiperstênio-granito) foi adquirido a partir do resíduo de corte e acabamento em empresas locais de beneficiamento de rochas ornamentais. O esteatito (pedra-sabão), uma rocha metamórfica maciça muito comum na região do Quadrilátero Ferrífero (MG), foi adquirido de resíduos da produção de artesanatos da região de Mariana, MG.

Os pós de rocha foram secos ao ar e peneirados, sendo utilizadas apenas as porções que passaram na peneira de malha de 0,105 mm e que foram retidas na de malha de 0,053 mm de abertura. Para a caracterização química e mineralógica, subamostras foram secas, moídas em almofariz e passadas totalmente pela peneira de malha de 0,053 mm de abertura. Os elementos principais foram analisados por espectrometria de fluorescência de raios-X e os demais por espectrofotometria de emissão de plasma após digestão triácida (Silva, 2009) (Tabela 1). A análise mineralógica foi realizada por difração de raios-X.

Tabela 1. Caracterização química e mineralógica dos pós de rocha

Elementos principais	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
..... %										
Gnaiss	54,7	14,8	12,3	6,1	2,4	2,5	3,7	2,2	1,1	0,2
Charnockito	60,4	13,6	8,0	5,1	3,0	2,7	2,2	2,3	1,4	0,1
Esteatito	47,2	4,2	8,6	2,3	24,3	<	<	0,1	0,02	0,1
Outros elementos	Cd	Co	Cr	Cu	La	Li	Ni	Pb	V	Zn
..... mg kg ⁻¹										
Gnaiss	< 3	16	13	11	138	15	< 3	< 8	179	148
Charnockito	< 3	68	24	323	74	15	74	11	167	134
Esteatito	< 3	87	869	39	< 20	< 3	1513	< 8	68	84
Composição mineralógica										
Gnaiss	Quartzo, ortoclásio, andesina (plagioclásio), anfíbólios, micas, rutilo e apatita.									
Charnockito	Quartzo, ortoclásio, andesina, ortopiroxênios (hiperstênio), diopsídio, micas e anfíbólios.									
Esteatito	Talco, cloritas, dolomita e anfíbólios.									



O solo utilizado no experimento foi uma amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. O solo foi previamente tamisado, separado em porções de 4 kg em sacos plásticos e recebeu uma adubação básica com vermicomposto. Logo após a adubação com vermicomposto, os solos (dentro dos sacos) foram esterilizados duas vezes em autoclave por 2 horas a 121 °C. Uma parte do solo foi mantida umedecida e não esterilizada para servir de inóculo para a reintrodução da microbiota. O inóculo micorrízico (isolado de solos sob uso agrícola) foi desinfestado para garantir que a inoculação com FMAs não estivesse associada a adição de outros organismos ou contaminantes químicos no solo. A inoculação com FMAs deu-se pela adição de um volume do extrato desinfestado, lavado e homogeneizado, correspondente a 300 esporos por vaso. O inóculo microbiano para reintrodução da microbiota do solo foi obtido a partir da agitação em água de uma massa de solo não estéril com posterior tamisação do sobrenadante com peneira de malha 0,053 mm, visando excluir propágulos de FMAs. A reintrodução da microbiota consistiu da aplicação de 200 mL de sobrenadante (obtido de o equivalente a 150 g de solo seco) em cada vaso.

O crescimento das plantas foi avaliado pela matéria seca da parte aérea ao longo dos três cultivos. Para isto, a parte aérea das plantas no estágio de início do florescimento foi coletada, lavada, secada e pesada (matéria seca). Em seguida, o material seco foi submetido às análises químicas. Os teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu, Cr, Cd, Pb e Ni foram determinados após digestão nitroperclórica, sendo os teores de P e Si determinados colorimetricamente, os de K por fotometria de emissão de chama e os demais por espectrofotometria de emissão de plasma (Silva, 2009). A biomassa microbiana foi avaliada pelo método de irradiação-extração, conforme Mendonça & Matos (2005), a partir de amostras de solo coletadas ao final do experimento e mantidas sob refrigeração a 4°C até o momento da análise. Para a avaliação da colonização micorrízica por FMAs, foram coletadas amostras do sistema radicular fresco. A colonização radicular por FMAs foi avaliada pelo método da contagem em placa reticulada.

Ao final do experimento (final do terceiro cultivo) foram avaliadas também as disponibilizações de elementos no solo conforme Silva (2009). A disponibilização total dos elementos foi estimada pelo somatório dos conteúdos nas plantas ao final de cada cultivo mais os teores disponíveis no solo ao final do experimento. Os dados foram submetidos à análise de



variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 %. A interação na ANOVA foi considerada significativa quando $p \leq 0,10$.

Resultados e Reflexão

A matéria seca da parte aérea acumulada nos três cultivos não diferiu entre os tratamentos (dados não mostrados). A semelhança observada entre os dados de matéria seca da parte aérea do milho acumulada nos três cultivos sucessivos sugere que algum nutriente tenha limitado o crescimento das plantas. Esta situação é similar à observada por Resende et al. (2006), em experimentos em casa de vegetação, com pós de rocha utilizados como única fonte de nutrientes às plantas. Os pós de rocha, possivelmente, não liberaram os nutrientes com a velocidade requerida pela planta ou não continham em quantidade suficiente e balanceada todos os nutrientes requeridos pelo milho.

A biomassa microbiana do solo foi, como esperado, significativamente afetada pelos agentes de solubilização, mas não foi afetada pela presença ou não dos diferentes pós de rocha. De modo semelhante, a colonização pelos fungos micorrízicos também não foi afetada pela presença dos pós de rocha, mantendo-se acima de 50% nos tratamentos inoculados.

Os conteúdos de nutrientes nas plantas acumulados ao longo dos três cultivos foram pouco alterados pela aplicação ou não das rochas, exceto quanto aos conteúdos de K. Os agentes de solubilização promoveram alterações nos conteúdos de P, K, Mg e Cu nas plantas (dados não mostrados). Os incrementos nos conteúdos de K, promovidos pelos pós de gnaiss e charnockito em relação ao controle, apenas nos tratamentos A_{Zm} e A_{FM} sugerem que os microrganismos do solo (mas não os FMAs) tenham influenciado positivamente a aquisição de K presente em formas menos disponíveis do elemento no solo (como por exemplo, formas de K não-trocáveis retidas em poros entre lâminas adjacentes de minerais de argila), mascarando o efeito destas rochas em A_{Mb} .

A disponibilização total de elementos, obtida pelo somatório dos conteúdos nas plantas com o disponibilizado no solo ao final do experimento, foi altamente influenciada pela presença das plantas de milho (A_{Zm} , A_{FM} e A_{Mb}), que promoveram incrementos gerais em relação aos tratamentos com apenas solo (A_{So}). A disponibilização total de Si foi incrementada em média



em 401 %, a de P em 98 %, a de Mg em 17 % e a de K em 16 % pela presença da planta (A_{Zm} , A_{FM} e A_{Mb}) em relação à sua ausência (A_{So}).

Apesar da grande diversidade dos minerais quanto à susceptibilidade ao intemperismo, os incrementos mais expressivos na disponibilização de elementos decorrentes da aplicação de determinado pó de rocha mostraram-se fortemente ligados ao teor total destes elementos na rocha, como evidenciado pelos teores de Mg e Ni no esteatito e de Cu no charnockito (Tabela 2 e dados não mostrados). Nesta mesma direção, mas em menor magnitude, os maiores teores totais de Fe e K no gnaiss em relação ao esteatito também refletiram em maior disponibilização destes elementos, ainda que tal resposta tenha sido dependente do agente de solubilização. O não incremento na matéria seca das plantas pelos pós de rocha, embora condizente com os poucos incrementos nos conteúdos de nutrientes nas plantas, não refletiu bem a disponibilização total de nutrientes, uma vez que os elementos disponibilizados pelos tratamentos são diferentemente requeridos pelas plantas. Mesmo sob condições de pH de solo mais elevadas, os incrementos nas disponibilizações de P, K, Mg e Si nos tratamentos sob a presença da planta foram muito superiores aos tratamentos com apenas solo (A_{So}).

Dessa forma, embora para a maioria dos nutrientes a disponibilização pelo solo (A_{So}) tenha sido eficiente indicadora da disponibilização de elementos pelos tratamentos, a magnitude da liberação de nutrientes pelas rochas foi consideravelmente maior na presença das plantas. Isso deve estar ligado à capacidade ativa da planta em disponibilizar nutrientes no solo (Hinsinger et al., 2001; Akter & Akagi, 2005), seja através da liberação de ácidos orgânicos, sideróforos, quelantes orgânicos, entre outros, ou por meio do deslocamento dos equilíbrios de dissolução dos minerais pela absorção de elementos (Harley & Gilkes, 2000; Wang et al., 2011). Tal fato sugere também que, em trabalhos envolvendo seleção de rochas para utilização como fontes alternativas de nutrientes devem-se evitar experimentos apenas com incubação em solo tal como os de Escosteguy & Klamt (1998), Gillman et al. (2001) ou Silva et al. (2005) e priorizar aqueles em que diferentes plantas são também comparadas quanto à suas capacidades de biodisponibilização (Wang et al., 2000), de modo a não subestimar o potencial das rochas.



Tabela 2. Disponibilização total de nutrientes (matéria seca das partes aéreas + disponível no solo ao final dos três cultivos sucessivos de milho em casa de vegetação). Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha ou maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de SNK à 5 %.

		Gnaíссе	Charnockito	Esteatito	Controle	médias	
P (mg vaso ⁻¹)	A _{So}	270,4	303,3	305,7	326,7	301,5	C
	A _{Zn}	564,7	514,7	511,0	494,7	521,2	B
	A _{FM}	556,0	694,0	620,7	715,3	646,5	A
	A _{Mb}	605,6	692,0	617,4	592,0	626,7	A
	médias	499,2	a 551,0	a 513,7	a 532,1	a	
K (mg vaso ⁻¹)	A _{So}	676,0	Ba 650,7	Bab 581,3	Bb 580,0	Bb 622,0	
	A _{Zn}	800,7	Aa 767,8	Aa 641,2	ABb 713,8	Aab 730,9	
	A _{FM}	763,2	Aa 762,3	Aa 682,7	Aab 645,9	ABb 713,5	
	A _{Mb}	677,9	Ba 764,4	Aa 681,1	Aa 731,9	Aa 713,8	
	médias	729,4	736,3	646,6	667,9		
Ca (mg vaso ⁻¹)	A _{So}	4400,8	4809,6	4905,8	4307,3	4605,9	A
	A _{Zn}	4541,4	4419,0	4504,2	4335,7	4450,1	AB
	A _{FM}	4377,0	4467,8	4177,8	4285,5	4327,0	B
	A _{Mb}	4261,4	4282,7	4415,3	4120,6	4270,0	B
	médias	4395,2	a 4494,8	a 4500,8	a 4262,3	a	
Mg (mg vaso ⁻¹)	A _{So}	1212,0	1150,4	1349,7	1043,5	1188,9	B
	A _{Zn}	1386,5	1370,7	1511,4	1310,1	1394,7	A
	A _{FM}	1381,3	1414,7	1465,2	1290,8	1388,0	A
	A _{Mb}	1360,7	1386,1	1496,8	1339,8	1395,9	A
	médias	1335,1	b 1330,5	b 1455,8	a 1246,1	c	
Si (mg vaso ⁻¹)	A _{So}	161,2	154,5	162,1	158,3	159,0	C
	A _{Zn}	842,3	795,3	822,7	840,2	825,1	A
	A _{FM}	793,9	813,3	831,2	745,8	796,1	AB
	A _{Mb}	776,6	764,3	768,1	775,0	771,0	B
	médias	643,5	a 631,8	a 646,0	a 629,8	a	



Conclusões

Quando aplicado diretamente no solo, o esteatito mostrou-se como fonte efetiva de Mg e Si, o charnockito de Cu e o gnaiss e charnockito de K para as plantas. Embora a atividade biológica seja importante para a disponibilização de nutrientes de rochas, neste estudo a planta demonstrou-se igualmente capaz de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas quando comparada com a presença conjunta da planta com a microbiota do solo ou em associação micorrízica. O solo isoladamente demonstrou-se com uma capacidade muito inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas, indicando a necessidade de mais estudos na presença de plantas em detrimento àqueles com apenas incubação em solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

Referências Bibliográficas

- AKTER, M.; AKAGI, T. Effect of fine root contact on plant-induced weathering of basalt. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51: 861-871, 2005.
- BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 59–68, 2000.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 11-20, 1998.
- FIXEN, P.E.; JOHNSTON, A.M. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 1001-1005, 2012.
- FOLEY, A.F. et al. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309: 570-575, 2005.
- GILLMAN, G.P.; BURKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effect on soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 799-811, 2001.
- HARLEY, A.D.; GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 11–36, 2000.
- HINSINGER, P.; BARROS, O.N.F.; BENEDETTI, M.F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 137–152, 2001.



JOHNSON, D.; LEAKE, J.R.; OSTLE, N.; INESON, P.; READ, D.J. In situ $^{13}\text{CO}_2$ pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*, 153: 327–334, 2002.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 3-9, 2000.

MARTINS, E.S.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA, C.G.; FURTINI NETO, A.E. 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, 2010. 380p.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. Viçosa: 2005, 81p.

NEUMANN, G.; ROMHELD, V. Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition. In: MARSCHNER, P. (Ed.). *Marschner's - Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3 ed. Academic Press. 2012. 650p.

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. Rochas como fontes de potássio e

outros nutrientes para culturas anuais. *Espaço & Geografia*, 9: 135:161, 2006.

SILVA, F.C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, M.T.B.; HERMO, B.S.; GARCIA-RODEJA, E.; FREIRE, N.V. Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils. *Chemosphere*, 61: 993-1002, 2005.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W.H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292: 281-284, 2001.

van STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78: 731-747, 2006.

WANG, H.Y.; SHEN, Q.H.; ZHOU, J.M.; WANG, J.; DU, C.W.; CHEN, X.Q. Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. *Plant Soil*, 343: 209-220, 2011.

WANG, J.G.; ZHANG, F.S.; CAO, Y.P.; ZHANG, X.L. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 37-44, 2000.