



Remineralizadores na Gestão Sustentável de Solos

Eder de Souza Martins

Agrogeólogo

(061)99209-8726

<http://lattes.cnpq.br/8160265101709215>
eder.martins@embrapa.br



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Plano da Apresentação

- Agrominerais regionais e remineralizadores de solos
- Potencial dos remineralizadores de solos na gestão ambiental
- Zoneamento Agrogeológico



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Definições

AGROMINERAL

Matéria prima mineral para a produção de insumos
destinados ao manejo da fertilidade do solo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Tipos de agrominerais



Classe de ânion		Tipo de rochas*	Cátions principais	Cobertura da crosta (% área) ¹⁰	Solubilidade em água
Carbonato	CO_3^{2-}	Calcário (sedimentar) ¹ Carbonatito (ígneo) ² Mármore (metamórfico) ³	$\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$	10,0	Baixa
Sulfato	SO_4^{2-}	Depósitos evaporíticos (sedimentar) ⁴	$\text{Ca}^{2+}, \text{K}^+$	0,0	Muito alta
Cloreto	Cl^{-1}	Depósitos evaporíticos (sedimentar)	K^+	0,0	Muito alta
Fosfato	PO_4^{3-}	Fosforito (sedimentar) ⁵ Foscorito (ígneo) ⁶	Ca^{2+}	0,0	Baixa
Silicato	SiO_4^{4-}	Sedimentar ⁷ Ígneo ⁸ Metamórfico ⁹	$\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+$	90,0	Muito baixa

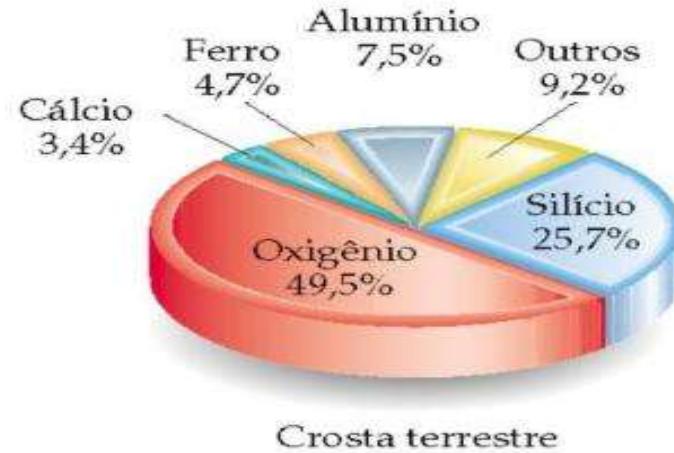
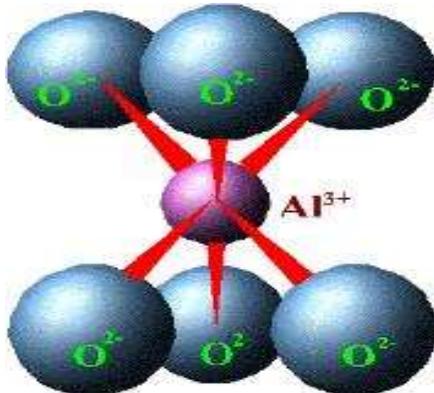
*Exemplos de pesquisa com agrominerais *in natura*: ¹Sousa et al. (1989); ²Andrade et al. (2002);

³Raymundo et al. (2013); ⁴Freire et al. (2014); ⁵Chaves et al. (2013); ⁶Resende et al. (2006); ⁷Lopes (1971); ⁸Mancuso et al. (2014); ⁹Duarte et al. (2012).

¹⁰Scoffin (1987).



Química das rochas



$$\text{O} + \text{Si} + \text{Al} = 82,4\%$$

Soluções Regionais

- ✓ Uso de agrominerais regionais *in natura*
- ✓ Uso de agrominerais regionais derivados de processos industriais (químicos, bioquímicos e físicos)
- ✓ Uso de bioestimulantes, biofertilizantes e biochar de resíduos agroindustriais e urbanos
- ✓ Manejo dos microbiomas do solo e das plantas



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Estabilidade dos Minerais

Energia livre de Gibbs de dissolução por hidrólise ($-\Delta G_{\text{sol}}$) dos principais minerais formadores de rochas silicáticas. Os menores valores são relativos aos minerais mais estáveis.

Mineral de rocha	Composição química	Classe mineral	$-\Delta G_{\text{sol}}$ (kJ mol ⁻¹)
Quartzo ¹	SiO ₂	Tectossilicato	-261
Ortoclásio ¹	KAlSi ₃ O ₈	Tectossilicato	13,7
Albita ¹	NaAlSi ₃ O ₈	Tectossilicato	65,6
Muscovita ¹	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	Filossilicato	178
Biotita ²	KMg ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	Filossilicato	368,7
Anortita ¹	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Tectossilicato	478
Anfibolio ¹	Ca ₂ Mg ₄ Al(Al ₈ Si ₄ O ₂₂)(OH) ₂	Inossilicato	495
Piroxênio ¹	CaMgAlSiO ₃	Inossilicato	537
Olivina ¹	Mg ₂ SiO ₄	Nesossilicato	977

¹Wieland et al. (1988); ²Tardy e Duplay (1992)



Dissolução de Agrominerais

Dissolução congruente

Dissolução total; todos os componentes dissolvidos em água

- Carbonato* – CO_3^{2-} , Ca^{2+} e Mg^{2+}
- Sulfato* – SO_4^{2-} e Ca^{2+} (Mg^{2+} , K^+)
- Cloreto* – Cl^- e K^+



Dissolução total

- Silicato* – H_3SiO_4^- e Ca^{2+} (Mg^{2+})

Agromineral
silicártico

Dissolução incongruente

- Aluminossilicato* - H_3SiO_4^- e Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+



Dissolução parcial

Dissolução parcial de H_3SiO_4^- e Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ; formação de argilominerais 2:1

Alta CTC e elevada carga negativa permanente



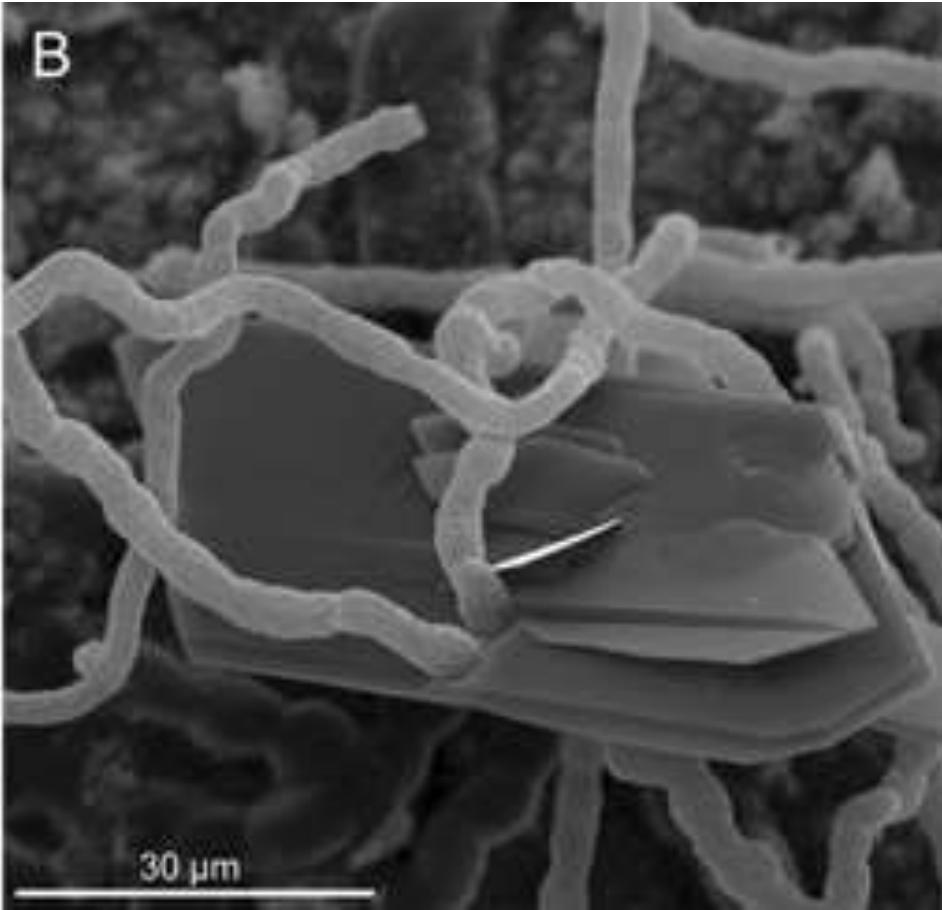
MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Biointemperismo



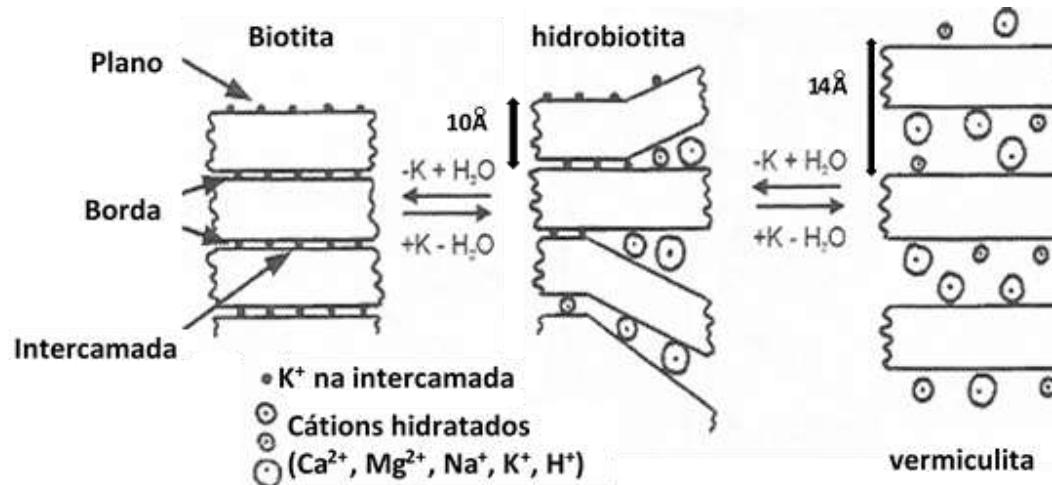
Biointemperismo



Fonte: Bonneville et al
(2011) Tree-mycorrhiza
Symbiosis accelerate
mineral weathering. *Geoch.
Cosmoch. Acta*, 75:6988-
7005

Biointemperismo

Biotita \longrightarrow Vermiculita + K (+Si +Mg +Fe)

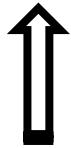


Fonte: Van Straaten (2007)

Geração de CTC por biointemperismo

Biointemperismo de mica xisto

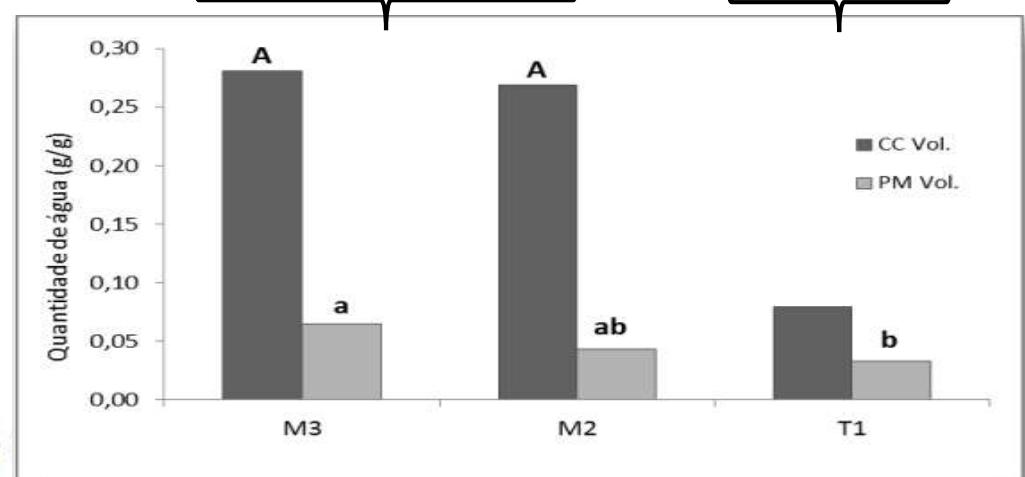
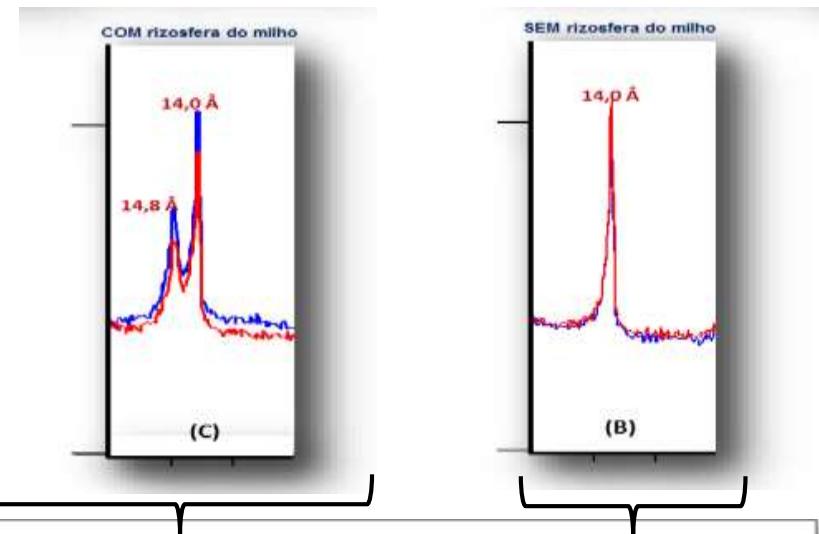
Vermiculita



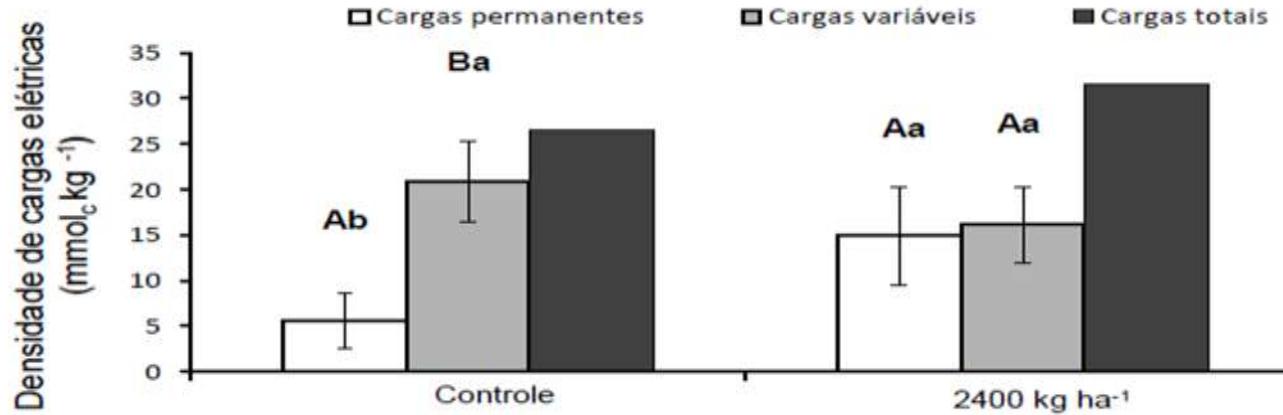
Hidrobiotita



Biotita

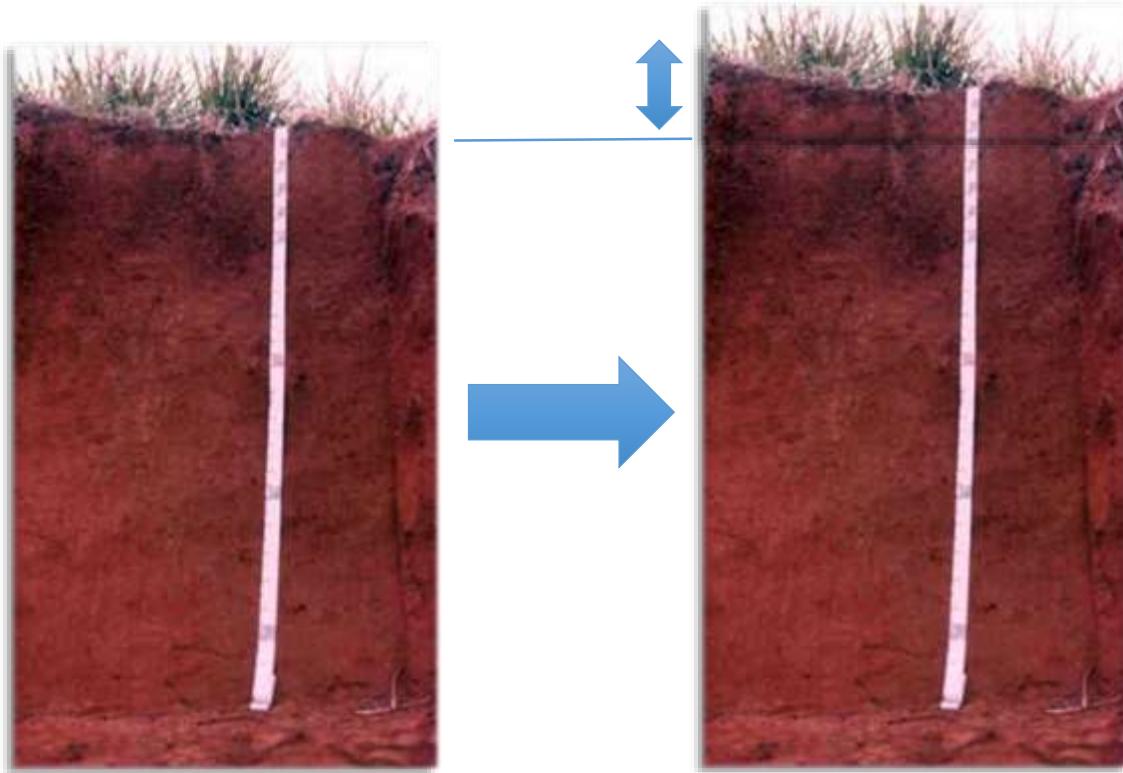


Formação de carga superficial



SANTOS, L.F; RODRIGUES, L.M.; MACHADO, L.L.; MOL, A.R.; SODRÉ, F.F.; BUSATO, J.G. CUNHA, J.C.; RUIZ, H.A.; FREIRE, M.B.G.; ALVAREZ, V.H.; FERNANDEZ, R.B. (2015) Cargas elétricas e liberação de nutrientes num Latossolo sob adição de sienito finamente moído. XXXV CBCS, Natal-RN, Resumos. Disponível:
<http://www.cbcbs2015.com.br/anais/index.php#menuanais>

Formação de solo



1 cm a cada 50 ou 100 anos
(1 a 2 toneladas por ano)

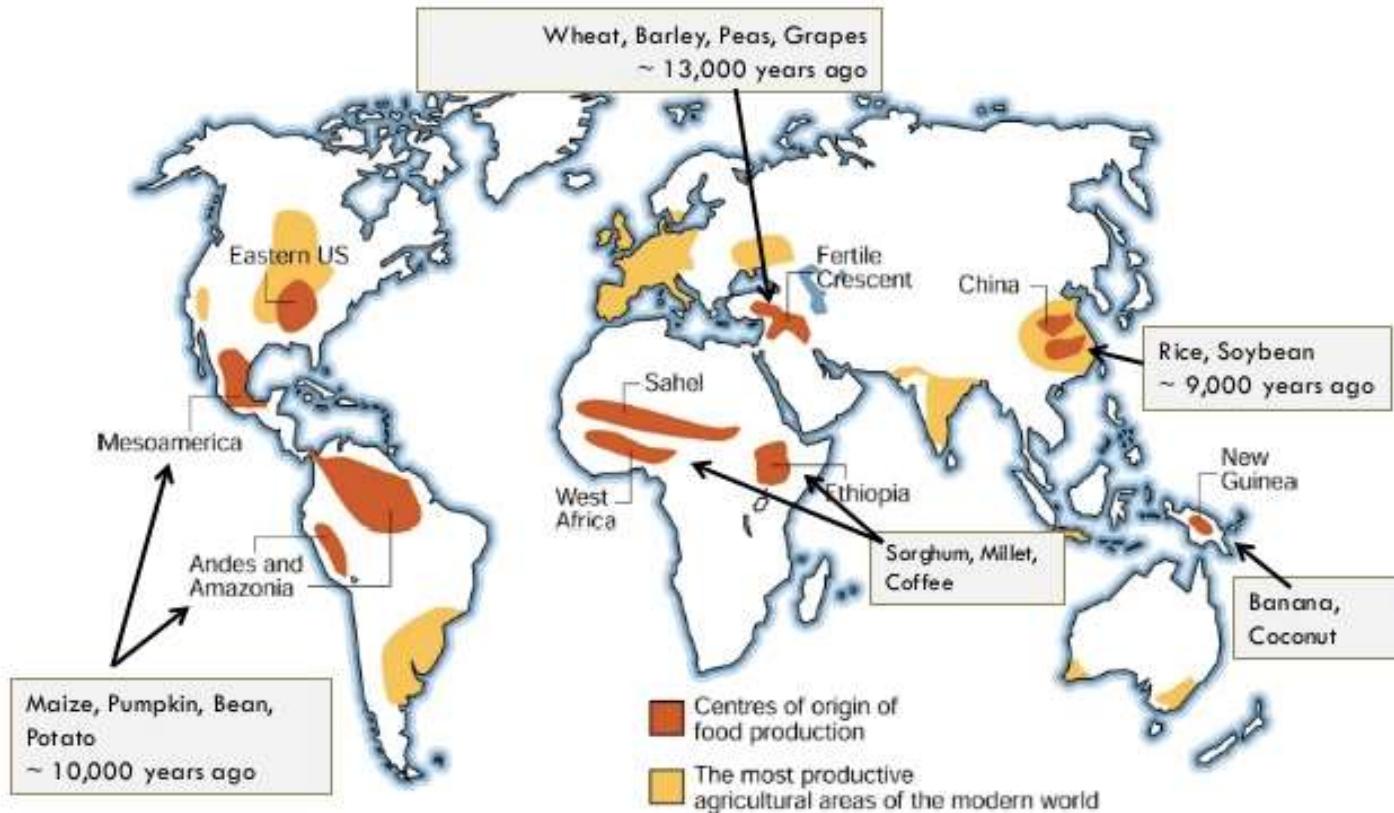
Processo natural:
1 cm a cada 1.000 anos

Interação entre silicatos e plantas



Fonte: Embrapa Cerrados 2017

Centros de origem de plantas e silicatos



Fonte: Gruissen (2013) A coalition of plant and crop societies across the Globe

Instruções Normativas do MAPA

REMINERALIZADOR DE SOLO

Regulamentação da Lei 12890/2013

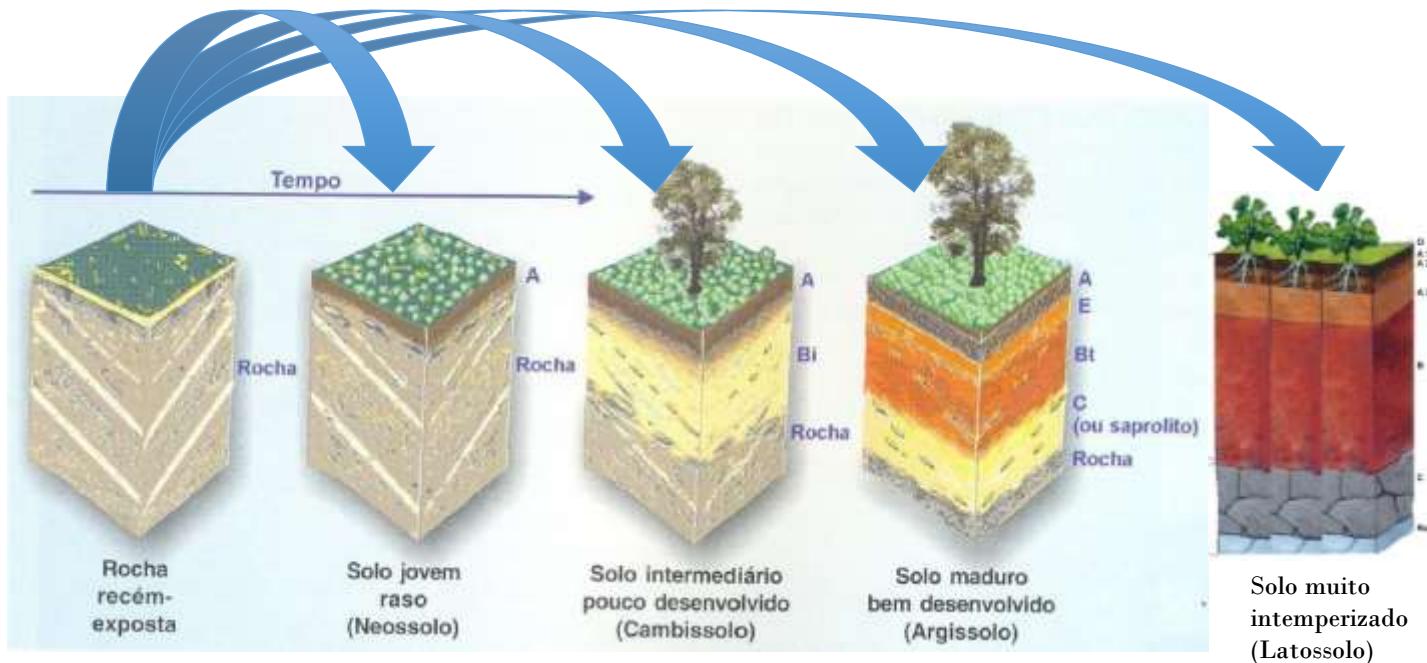
IN 05 e IN 06/2016 publicado em 14/03/2016 altera a
Instrução Normativa Nº 14, de 15 de dezembro de 2004
de substratos e inclui os remineralizadores



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Remineralizador de Solo



Instrução Normativa nº 5, de 24 de março de 2016

**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

GABINETE DA MINISTRA

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 10 DE MARÇO DE 2016

A MINISTRA DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, no uso das atribuições que lhe confere o art. 87, parágrafo único, inciso II, da Constituição, tendo em vista o disposto no art. 3º do Anexo do Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, e o que consta do Processo nº 21000.003626/2015-32, resolve:

Art. 1º Ficam estabelecidas as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura.

Seção III

Especificações e Garantias do Produto

Subseção I

Remineralizadores

Art. 4º Os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas:

I - em relação à especificação de natureza física, nos termos do Anexo I desta Instrução Normativa;

II - em relação à soma de bases (CaO, MgO, K₂O), deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso;

III - em relação ao teor de óxido de potássio (K₂O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso; e

IV - em relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abraço, valor conforme declarado pelo registrante.

§ 1º Quando os remineralizadores contiverem naturalmente o macronutriente fósforo e micronutrientes, os seus teores podem ser declarados somente se forem iguais ou superiores aos valores expressos no Anexo II desta Instrução Normativa.

§ 2º Não serão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, ficando vedadas a produção, importação e comercialização no país de remineralizadores que contiverem:

I - em relação ao SiO₂ livre presente no produto, teor superior a 25% (vinte e cinco por cento) em volume/volume; e

II - em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto, teores superiores a:

- a) para Arsênio (As): 15 ppm;
- b) para Cádmio (Cd): 10 ppm;
- c) para Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e
- d) para Chumbo (Pb): 200 ppm.

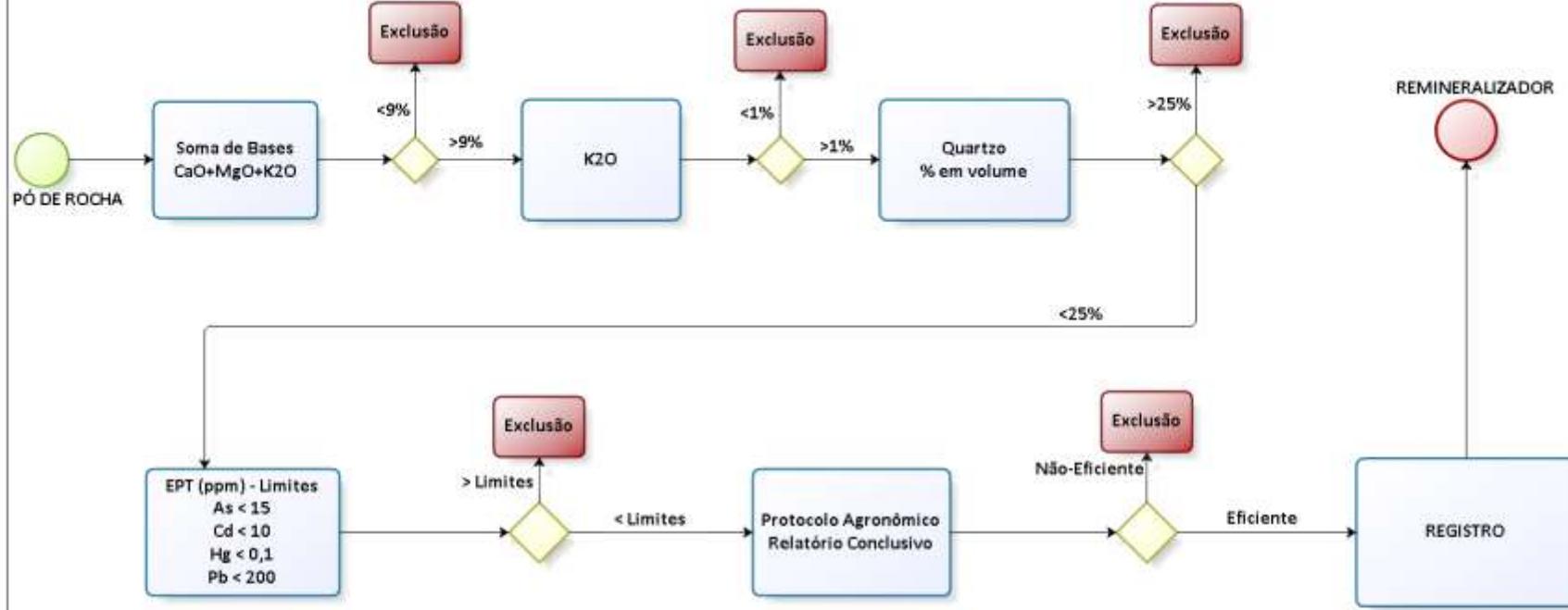


MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Critérios para Registro no MAPA

CRITÉRIOS DE NORMATIZAÇÃO



FLUXOGRAMA – Etapas de avaliação para registro

1. Soma de bases – mínimo 9%
2. K₂O – mínimo 1%
3. Quartzo – máximo 25%
4. Limites máximos de EPT em ppm (As<15, Cd<10, Hg<0,1, Pb<200)
5. Granulometria – farelado, pó ou filler; 6. pH de abrasão
7. Protocolo agronômico (avaliação da eficiência agronômica)

Agrominerais Silicáticos

Cálcio e Magnésio

Rochas ultramáficas – ricas em olivina, piroxênio, serpentina. Alto Mg, Fe, Ni e Cr (**Serpentinito**)

Rochas ultramáficas alcalinas – ricas em olivina, piroxênio, feldspatoides. Alto Mg, Ca, K, Fe
(**Kamafugito**)

Rochas básicas – ricas em olivina, piroxênio, plagioclásio. Alto Mg, Ca, Fe (**Basalto, Diabásio, Gабro**)

Rochas sedimentares – ricas em argilominerais 2:1 (esmectitas, vermiculita). (**Folhelhos, Siltitos**)

Potássio

Rochas alcalinas – ricas em feldspatos e feldspatoides. Pode ter alto Na (**Fonolito, Nefelina sienito**)

Rochas metamórficas – ricas em biotita. Pode ter bases variáveis e quartzo elevado (**Gnaisses, Xistos**)

Rochas ultramáficas alcalinas – ricas em olivina, piroxênio, feldspatoides. Alto Mg, Ca, K, Fe
(**Kamafugito**)

Rochas sedimentares ou residual – ricas em argilominerais 2:1 (glauconita, esmectitas, vermiculita).
(**Folhelhos, Siltitos, Saprólitos**)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Minerais de K

Solubilidade alta:

Silvita: KCl ($\approx 60\% \text{K}_2\text{O}$)

Cloreto e sulfatos complexos de K-Mg

Solubilidade moderada:

Flogopita: $\text{KMg}_3\text{Al}(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{10}$ ($\approx 10\text{-}15\% \text{K}_2\text{O}$)

Biotita: $\text{K}_2(\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ ($\approx 10\% \text{K}_2\text{O}$)

Leucita: $\text{KAl}(\text{SiO}_3)_2$ ($\approx 15\text{-}20\% \text{K}_2\text{O}$)

Nefelina: $(\text{Na},\text{K})(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_4$ ($\approx 5\text{-}10\% \text{K}_2\text{O}$)

Kalsilita: KAlSiO_4 ($\approx 25\text{-}30\% \text{K}_2\text{O}$)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Minerais de K

Solubilidade baixa:

Glauconita: $KMg(Fe,Al)(SiO_3)_6 \cdot 3H_2O$ (≈10-15% K_2O)

Solubilidade muito baixa:

Feldspatos alcalinos: $(K,Na)AlSi_3O_8$ (≈5-15% K_2O)

Muscovita: $KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$ (≈5-10% K_2O)

Agrominerais regionais

Material carbonoso e Enxofre

Rochas sedimentares – ricas em argilominerais, material carbonoso e enxofre
(Turfa, Folhelho betuminoso, Anracito)

Enxofre

Rochas sedimentares e metamórficas – resíduos derivados de petróleo (**enxofre elementar**), de mineração de metais, carvão e folhelho betuminoso (**pirita**)

Fósforo

Rochas sedimentares e ígneas – fosfatos



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Testes Agronômicos

Caracterização agronômica

Ensaios de Laboratório

Casa de vegetação

Campo

Resende et al. (2012) Protocolo de avaliação agronômica de rochas. **Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 143, 30 p.**

Documentos

ISSN 1670-4237
Outubro, 2012

143

Protocolo de Avaliação Agronômica de Rochas e Produtos Derivados como Fontes de Nutrientes às Plantas ou Condicionadores de Solo



Proposta de Protocolo da Embrapa após Legislação e Normatização

Silveira et al. (2016) Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solos. **III Congresso Brasileiro de Rochagem.**



MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE REMINERALIZADORES DE SOLO – UMA PROPOSTA DA EMBRAPA

Carlos Augusto Passer Silveira¹; Adilson Luiz Bamberry¹; Rosane Martinazzo²,
Clelio Nalito Pilan³; Edor de Souza Martins⁴; Clássia F. de Brum Plantão⁵

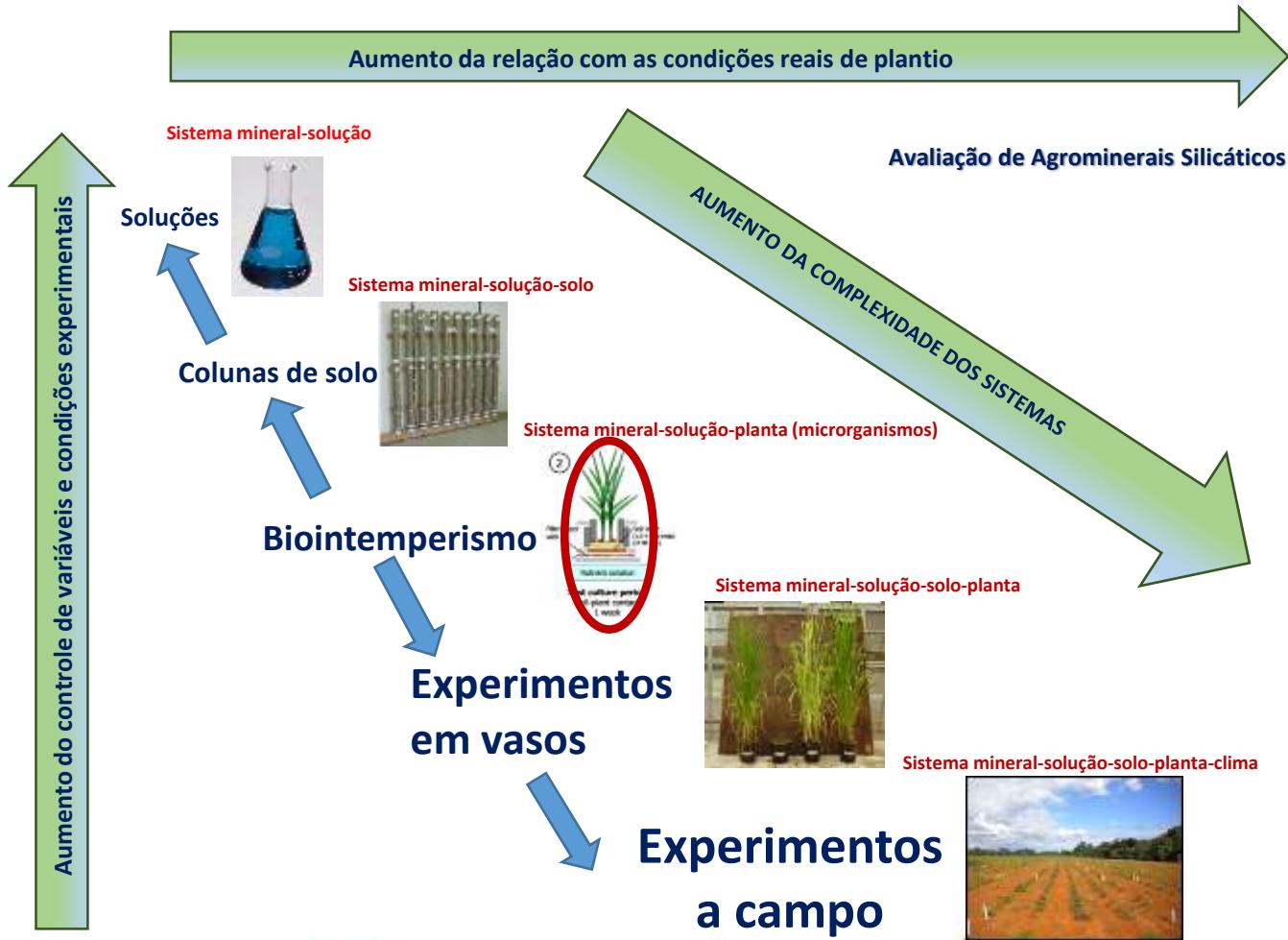
¹Setor Brasileiro de Pesquisa Agronômica-Escola Góes-Teresópolis - Agrobrasil Universitário Ltd., setor.pesquisas@embrapa.br; ²clelio.martinazzo@embrapa.br; ³setor.pesquisas@embrapa.br; ⁴escola.goes@embrapa.br; ⁵classia.f.debrum@embrapa.br; ⁶Universidade Federal do Paraná

INTRODUÇÃO

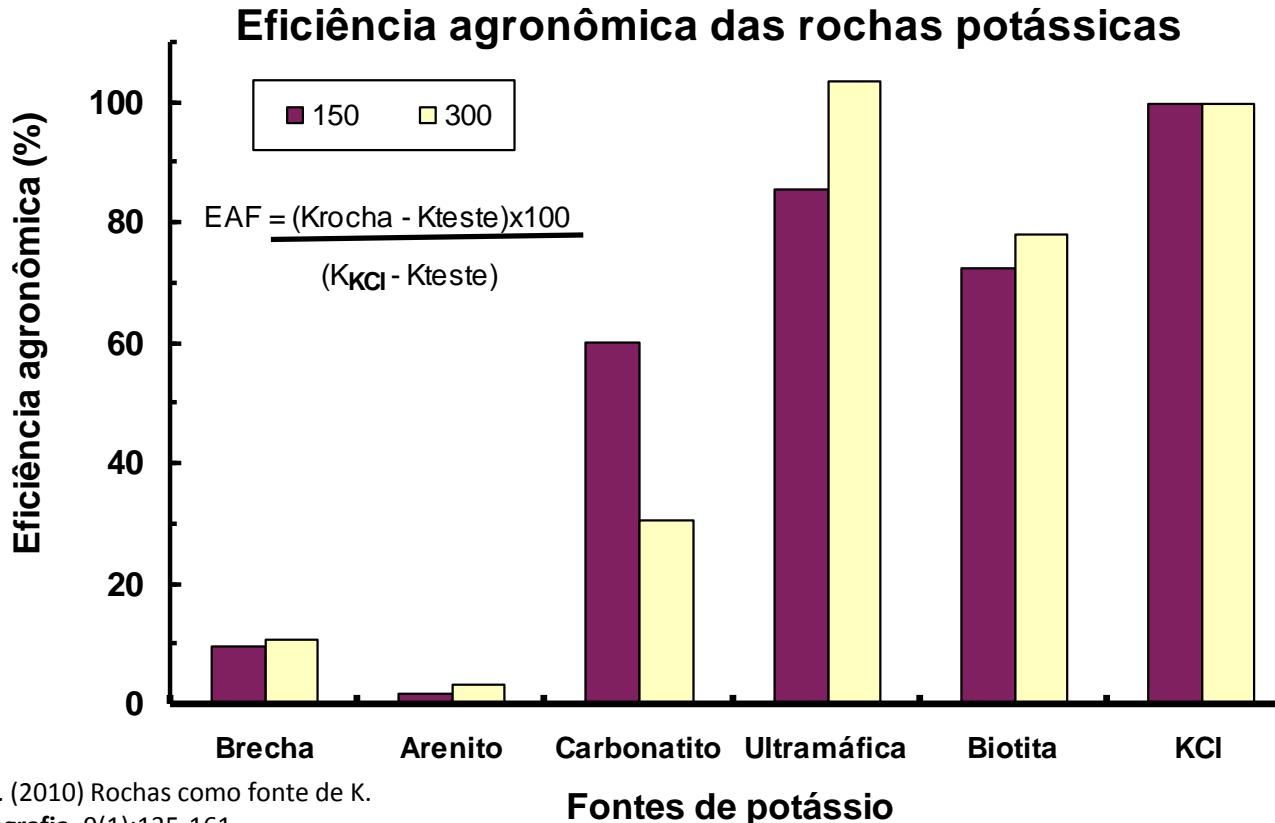
De acordo com a Lei 12.890 de 10 de dezembro de 2013, em seu artigo 3º, remineralizado considera-se material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecanicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas e químicas ou da atividade biológica do solo. Como complemento a essa Lei, a Instrução Normativa n. 5, de 24 de março de 2013, em seu artigo 4º, lista critérios de especificações e garantias que esse tipo de produto deve apresentar. Porém, em relação a avaliação da eficiência agronômica (artigo 9º) os procedimentos são demasiado generalistas e voltados a uma gama de produtos de diferentes naturezas.

A Instrução Normativa n. 53, de 23 de outubro de 2013, em seu Capítulo VII, referente ao *Requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agronômica e elaboração de relatório técnico-científico para fins de registro de produto novo (fertilizante, corretivo e biofertilizante)*, sugere que, para fins de registro de um produto novo, sejam atendidos vários requisitos mínimos e procedimentos agronômicos, porém não contempla os remineralizadores de solo. Assim, no que diz respeito à avaliação agronômica desse produto, considerando que essa categoria de produto agrícola seja avaliada como "produto novo", as particularidades dos remineralizadores de solo exigem modificações em alguns desses requisitos, a fim de adequar os protocolos agronômicos a essas particularidades. Basicamente a presente proposta parte do princípio que, em definição, os remineralizadores de solo são fontes multielementares de nutrientes, os quais apresentam baixa e/ou gradual solubilidade e relativamente baixa concentração de nutrientes. Assim, alguns requisitos, tais como tempo de duração dos experimentos, comparação com fontes de elevada solubilidade e concentração, não são compatíveis e adequados a esse tipo de insumo agrícola. Deste modo se não forem realizadas adequações no protocolo agronômico, provavelmente não seja possível constatar que essa categoria "altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas e/ou químicas ou da atividade biológica do solo".

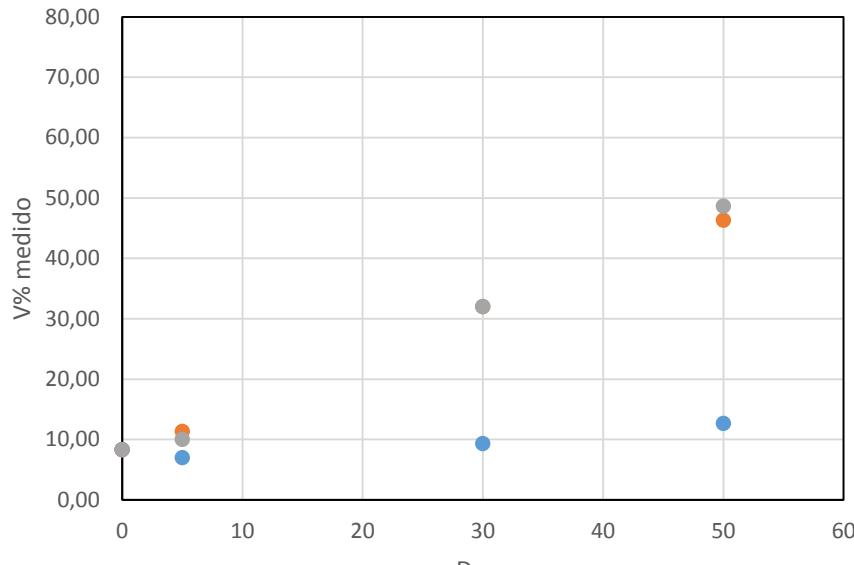
De qualquer forma, o protocolo deverá atender simultaneamente os seguintes objetivos:
a) traçar a capacidade dos remineralizadores em alterar positivamente uma ou mais variáveis repre-



Eficiência Agronômica de Agrominerais Potássicos



Incubação de Kamafugito em solo



Embrapa Cerrados (2017)

Latossolo textura média

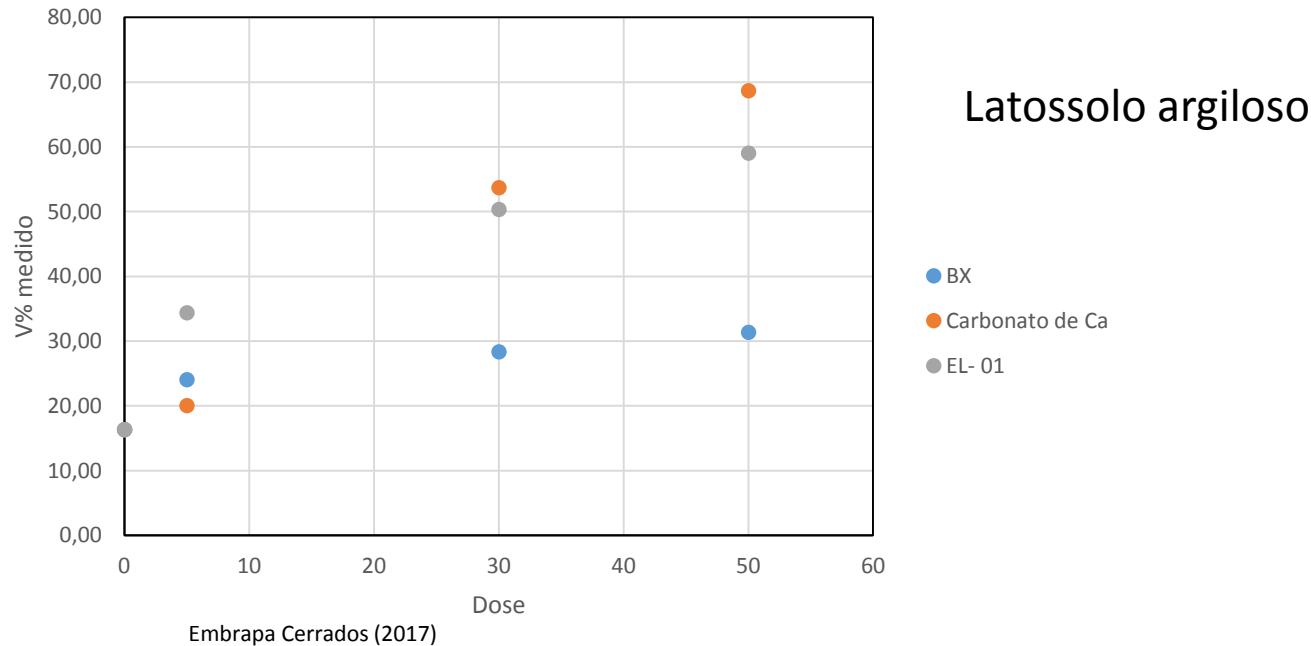
- BX
- Carbonato de Ca
- EL-01



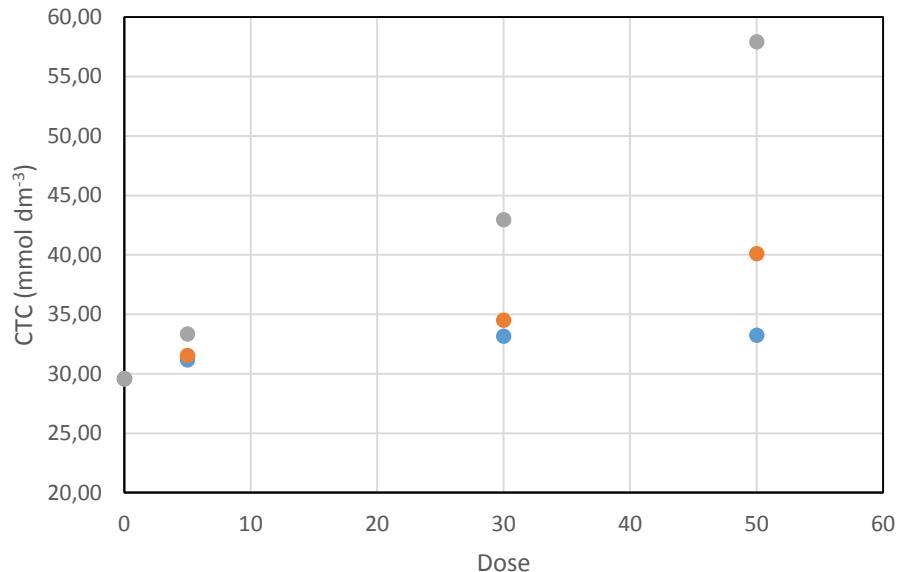
MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Incubação de Kamafugito em solo



Incubação de Kamafugito em solo

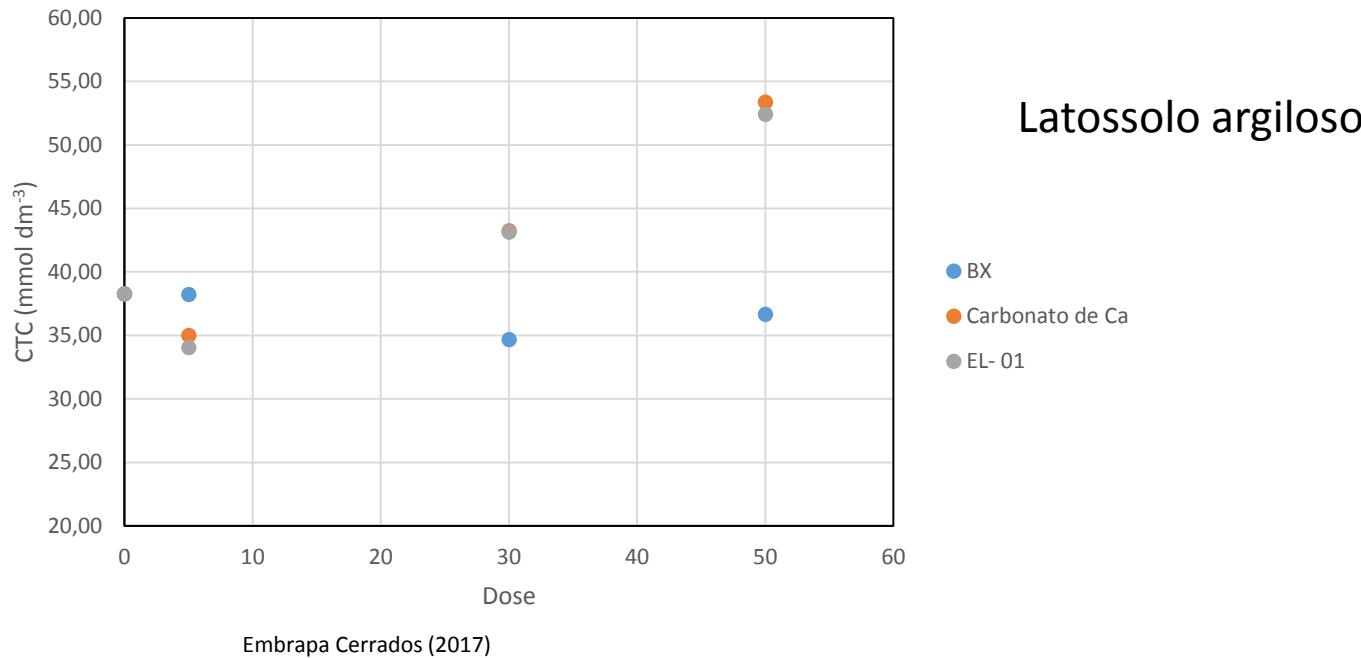


Embrapa Cerrados (2017)

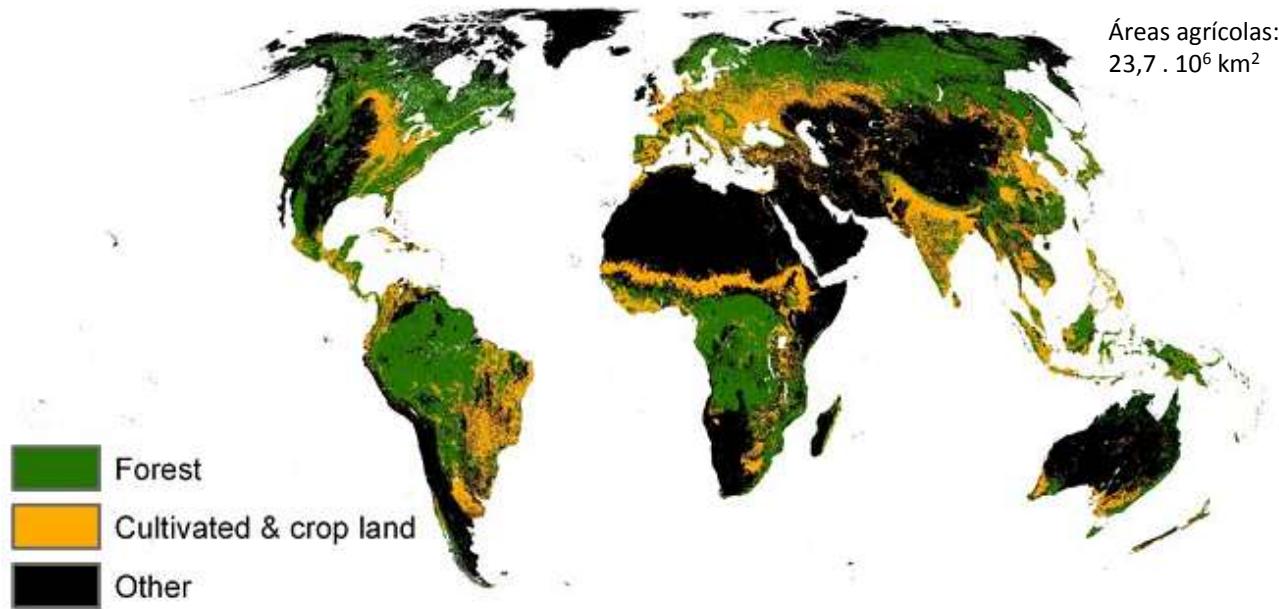
Latossolo textura média

- BX
- Carbonato de Ca
- EL-01

Incubação de Kamafugito em solo

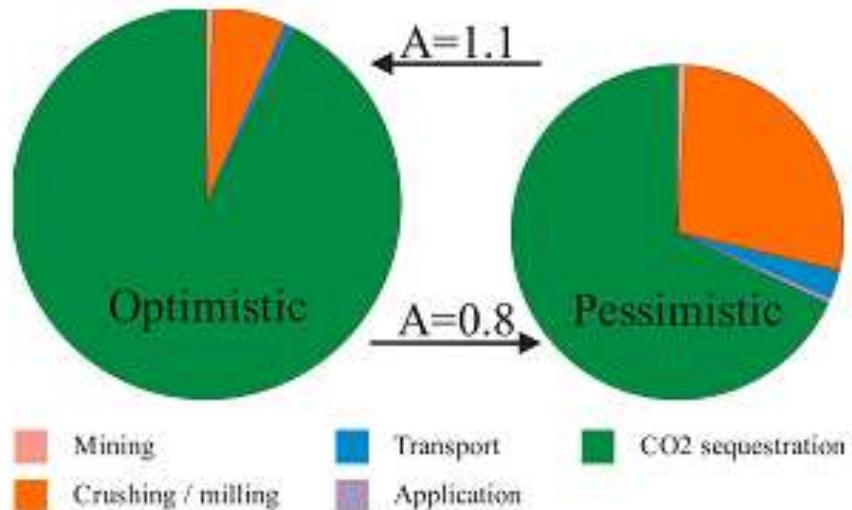
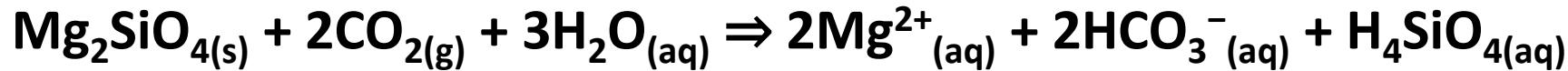


Potencial de Agrominerais Silicáticos no Sequestro de C no solo



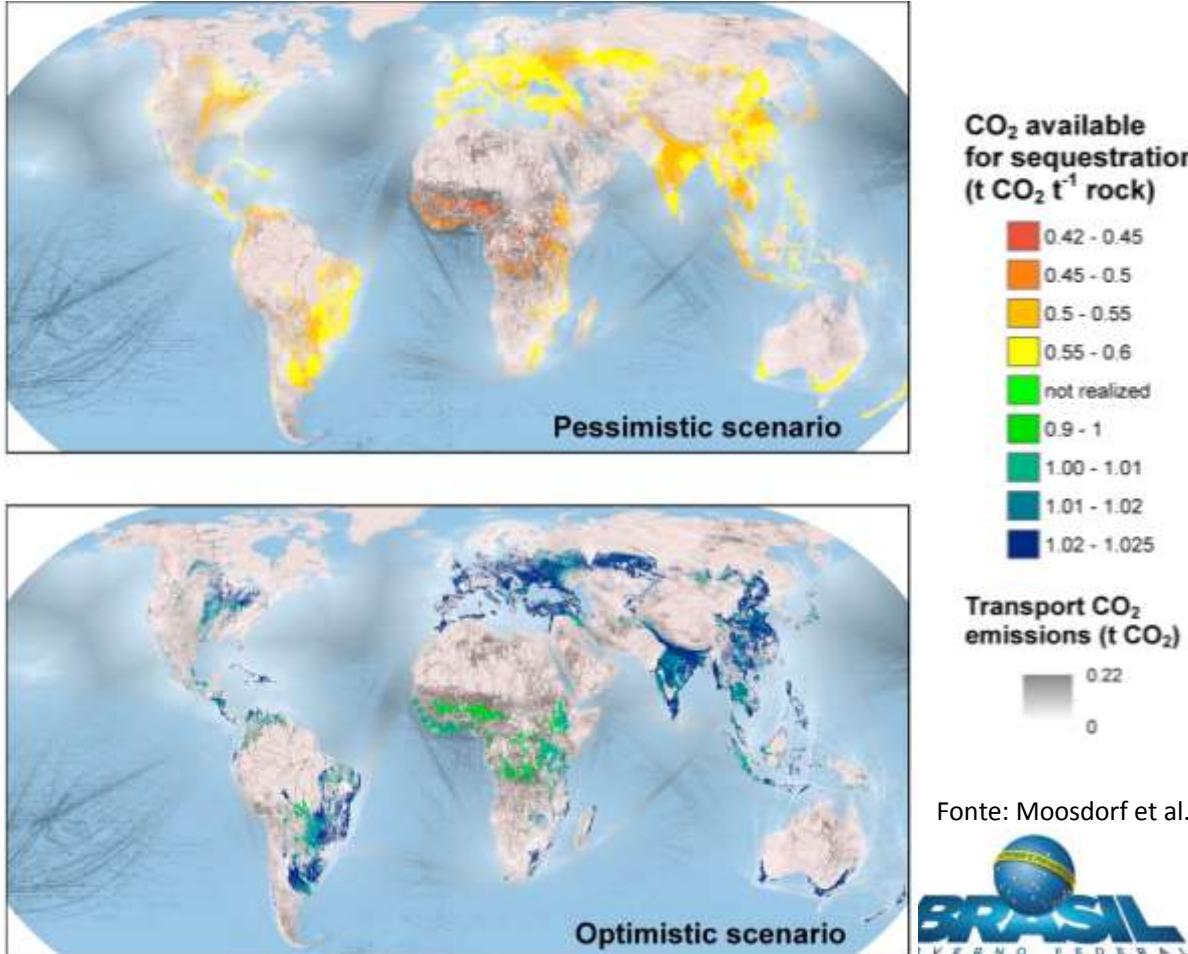
Fonte: Hartmann e Kempe (2008)

Potencial de Agrominerais Silicáticos no Sequestro de C no solo



Fonte: Moosdorff et al. (2014)

Potencial de Agrominerais Silicáticos no Sequestro de C no solo



Fonte: Moosdorf et al. (2014)





Programa Nacional de Zoneamento Agrogeológico

Variáveis Agrogeológicas

Agrominerais regionais

- Composição química
- Composição mineralógica
- Granulometria...

Sistema de cultivos

- Desenvolvimento de raízes
- Ciclagem
- Cobertura do solo...

Solo

- Composição química
- Composição mineralógica
- Atividade biológica...

Clima

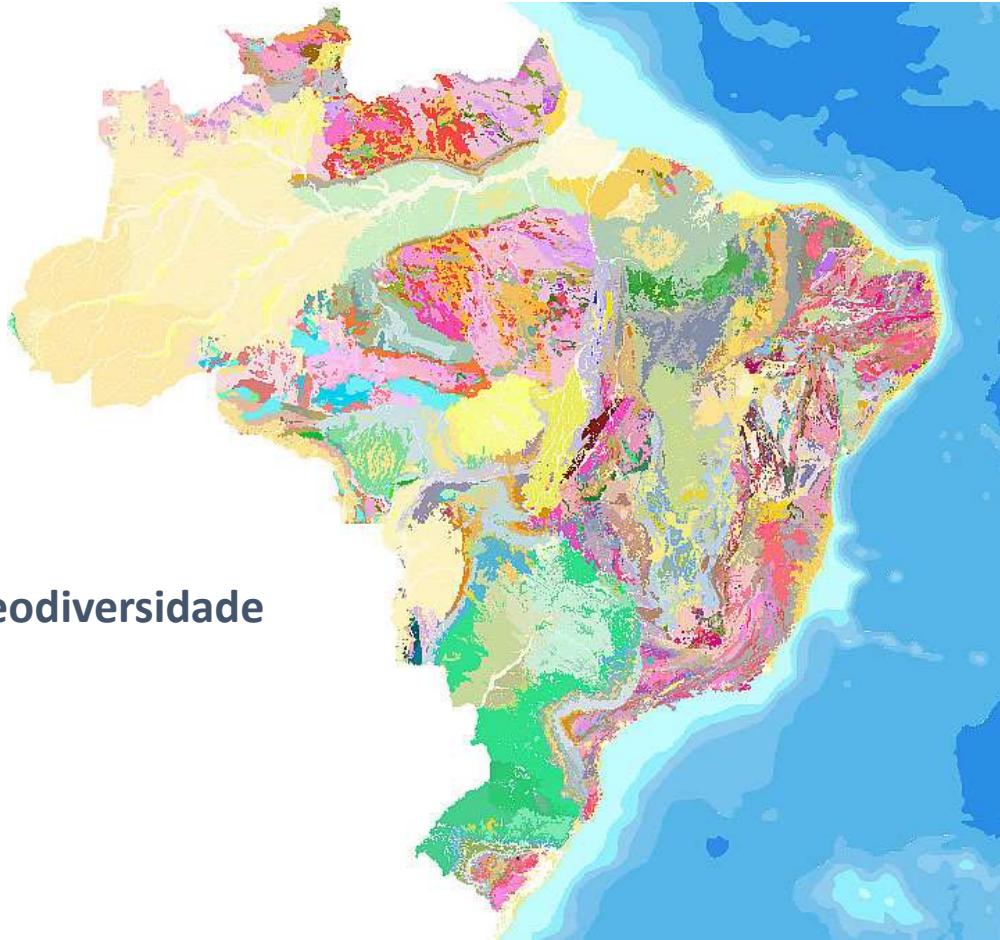
- Precipitação
- Temperatura
- Edafoclima...



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

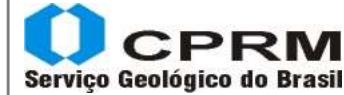
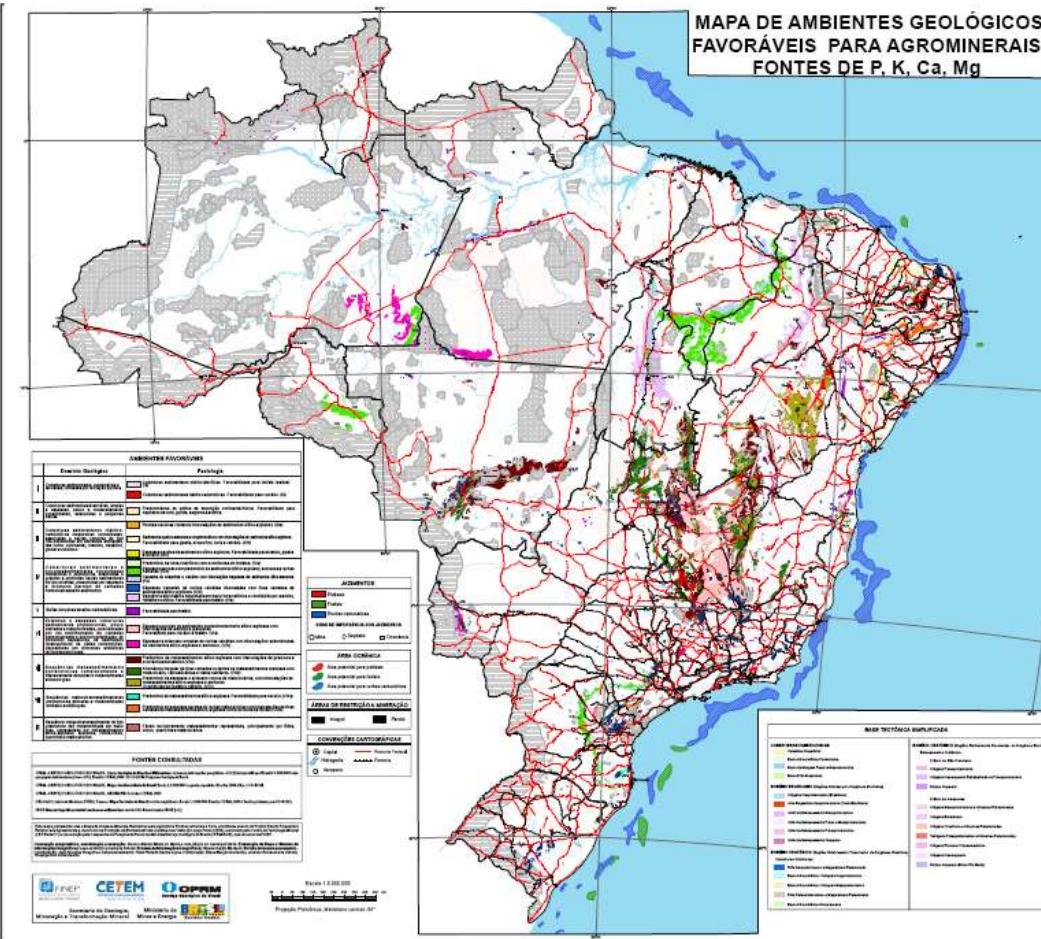


Potencial

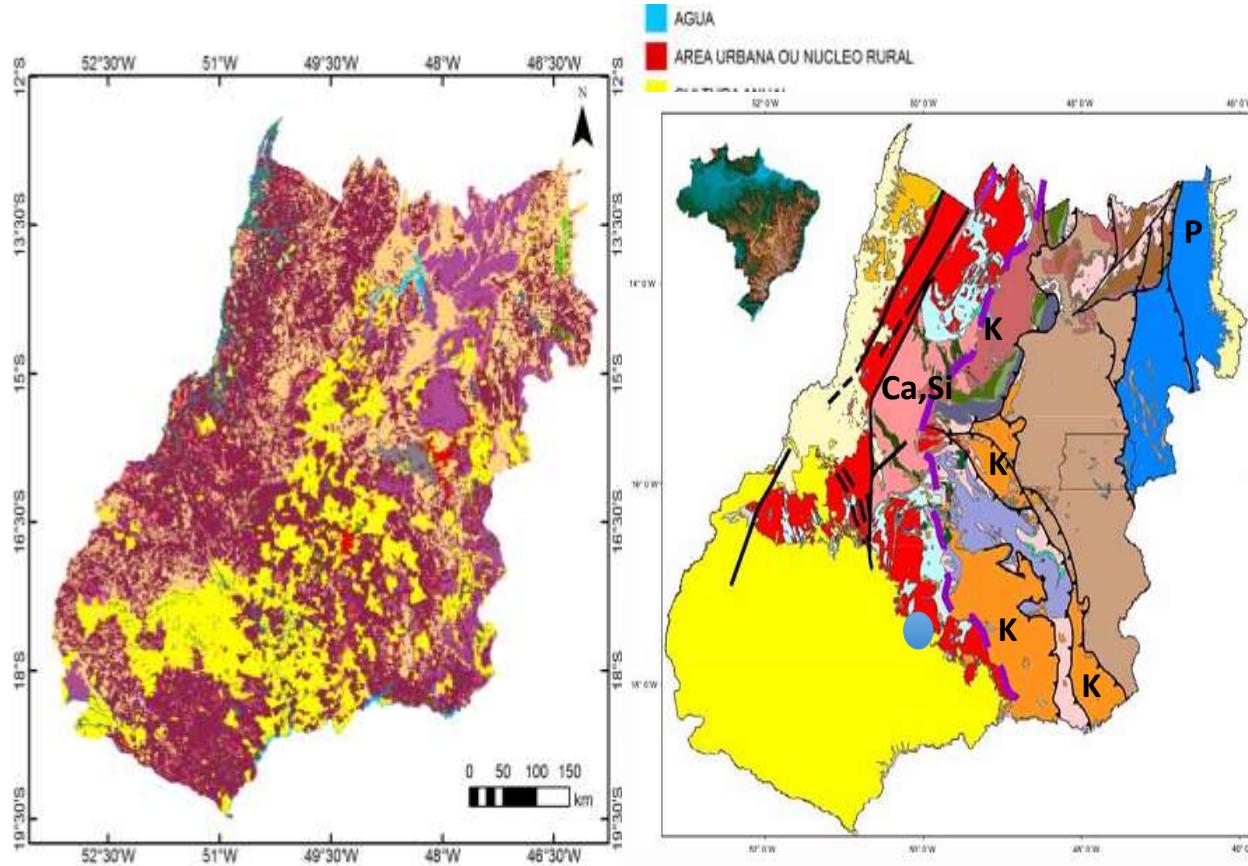


Megageodiversidade

Potencial



Zoneamento Agrogeológico



Sistema Estadual de Informação - SIEG

Ca,Mg,K,Si

Processo Agrogeológico

1. Agrogeologia: Estudo dos solos agrícolas e das fontes de nutrientes, remineralizadores e condicionadores de solo regionais;
2. Seleção de agrominerais: Função da disponibilidade, composição química, mineralógica, e eficiência agronômica;
3. Produção de agrominerais: Definição da tecnologia de beneficiamento em função da eficiência agronômica;
4. Manejo: Aplicação de agrominerais regionais com a finalidade de manejar a fertilidade do solo (nutrientes + cargas negativas).



3. Produção de agrominerais



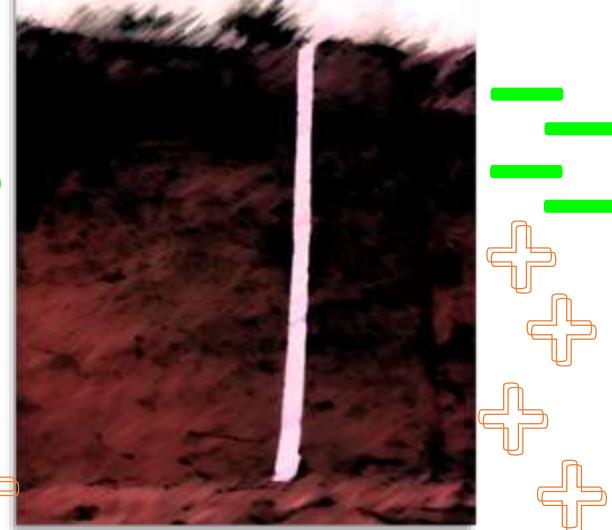
2. Seleção de agrominerais

1. Agrogeologia



4. Manejo

Produção de Solo



Produção de solo: Formação de nova camada de solo a partir do intemperismo da rocha moída no solo original ao longo do tempo.

- Propriedades emergentes – aumento da capacidade produtiva; intensificação ecológica; melhoria da eficiência de aproveitamento de nutrientes; mitigação do efeito estufa...

Remineralizadores de solos

Base Mineral – novos agrominerais como fontes de liberação controlada, geração de CTC permanente e aumento da eficiência de uso de nutrientes

Manejo – aumento da atividade biológica (sistema de produção e insumos biológicos) e potencial de sequestro de carbono no solo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



GRATO



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

