



GT Remineralizadores

Exemplos de subprodutos da mineração como remineralizadores de solos

Eder de Souza Martins

Geólogo, Dr. – Geomorfologia e Agrokeologia

Pesquisador da Embrapa

Professor de Pós-Graduação da UnB

eder.martins@embrapa.br

61-3388 9803, 99209-8726

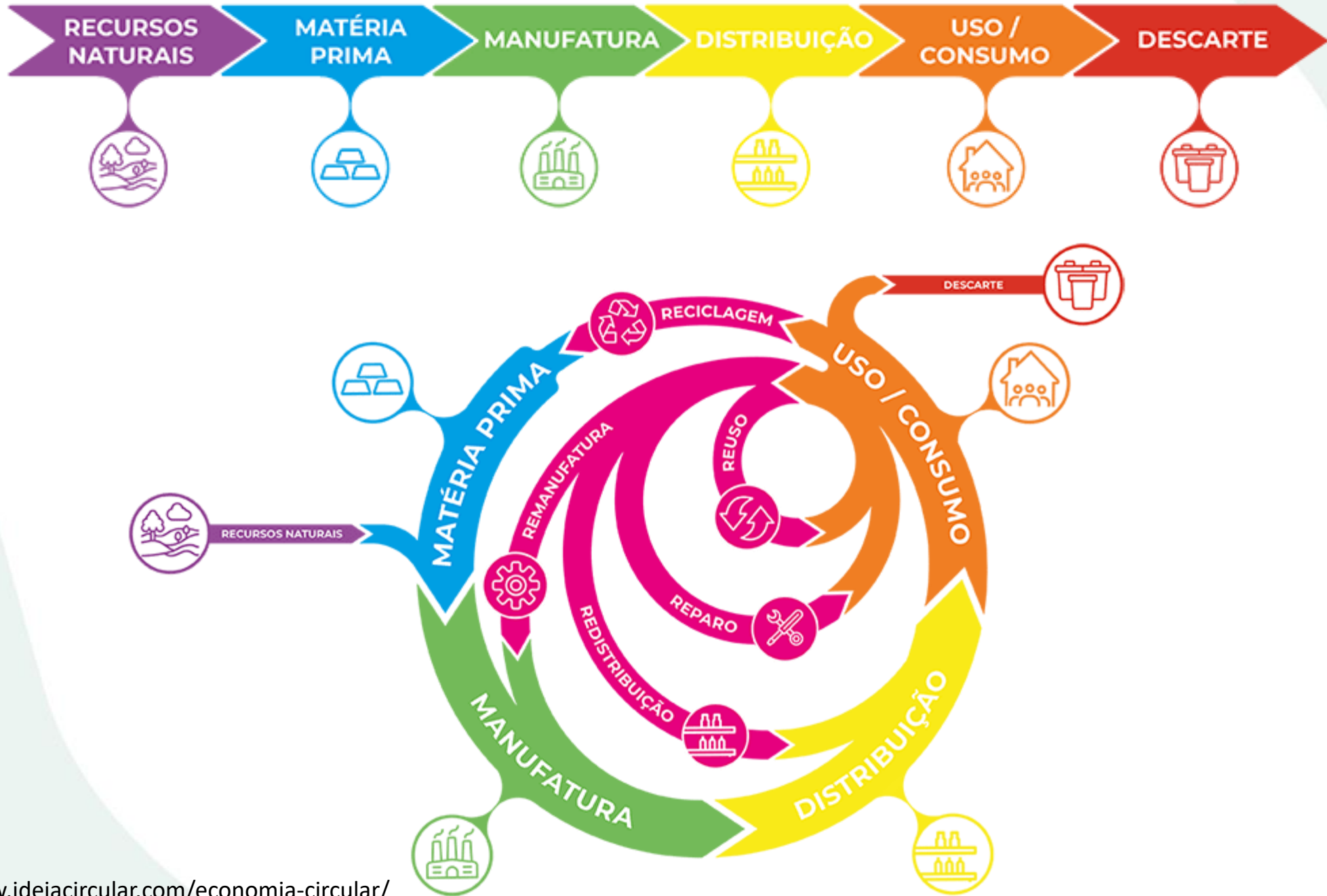


Tipos de subprodutos de mineração

Tipos de subprodutos da mineração

Estéril - Solo ou rocha em que o minério está ausente ou presente em teores muito baixos para ser aproveitado economicamente (ABNT. NBR 8969)

Rejeito - Material resultante dos processos extrativos da mineração, que não é aproveitado economicamente, após passar por processo de beneficiamento (ABNT. NBR 10703)



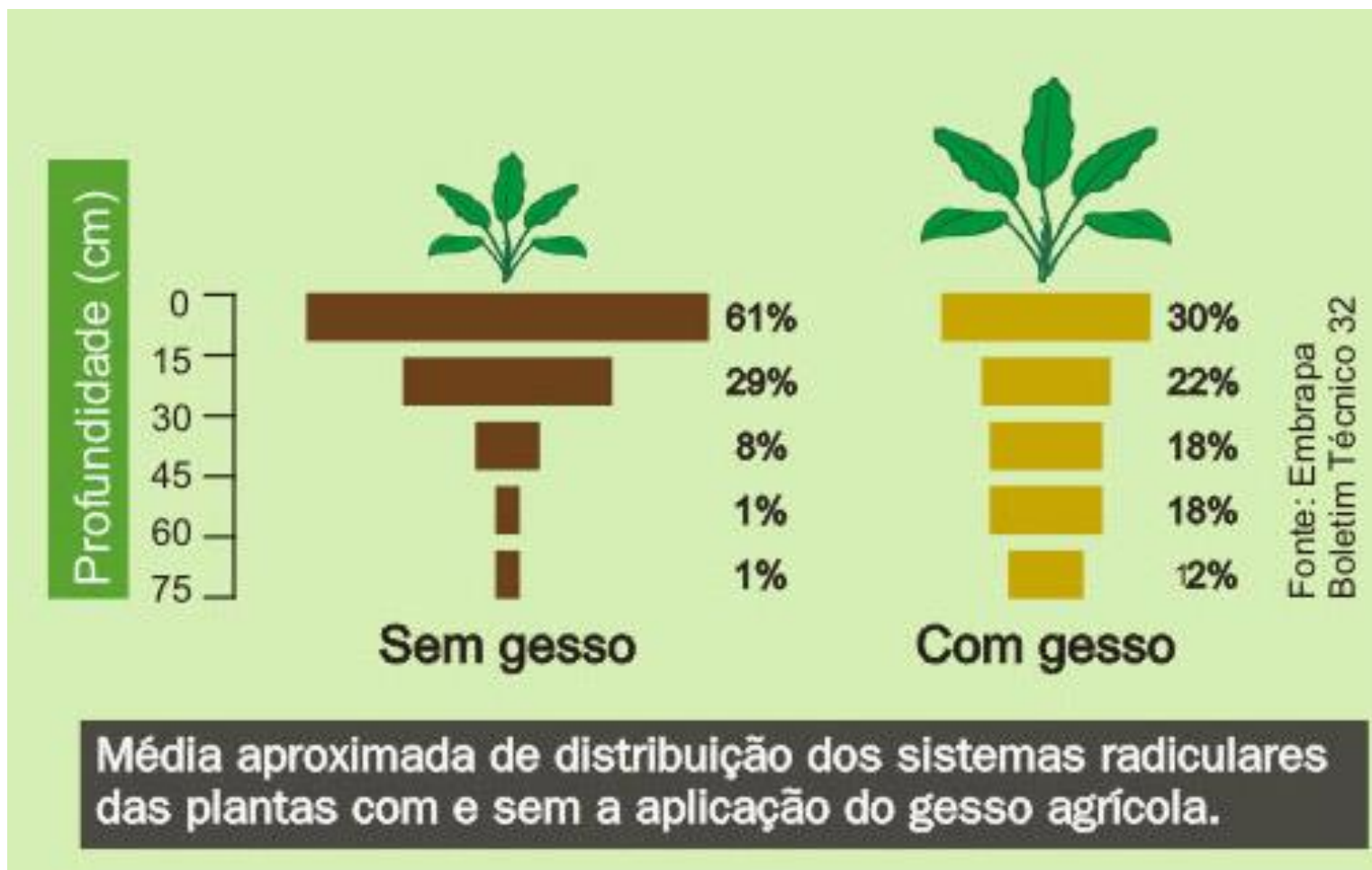
Exemplo de subproduto da mineração que se transformou em insumo agrícola



Relação Fosfogesso/Fosfato = 5

Produção de fosfogesso = 6-8 Mt/ano

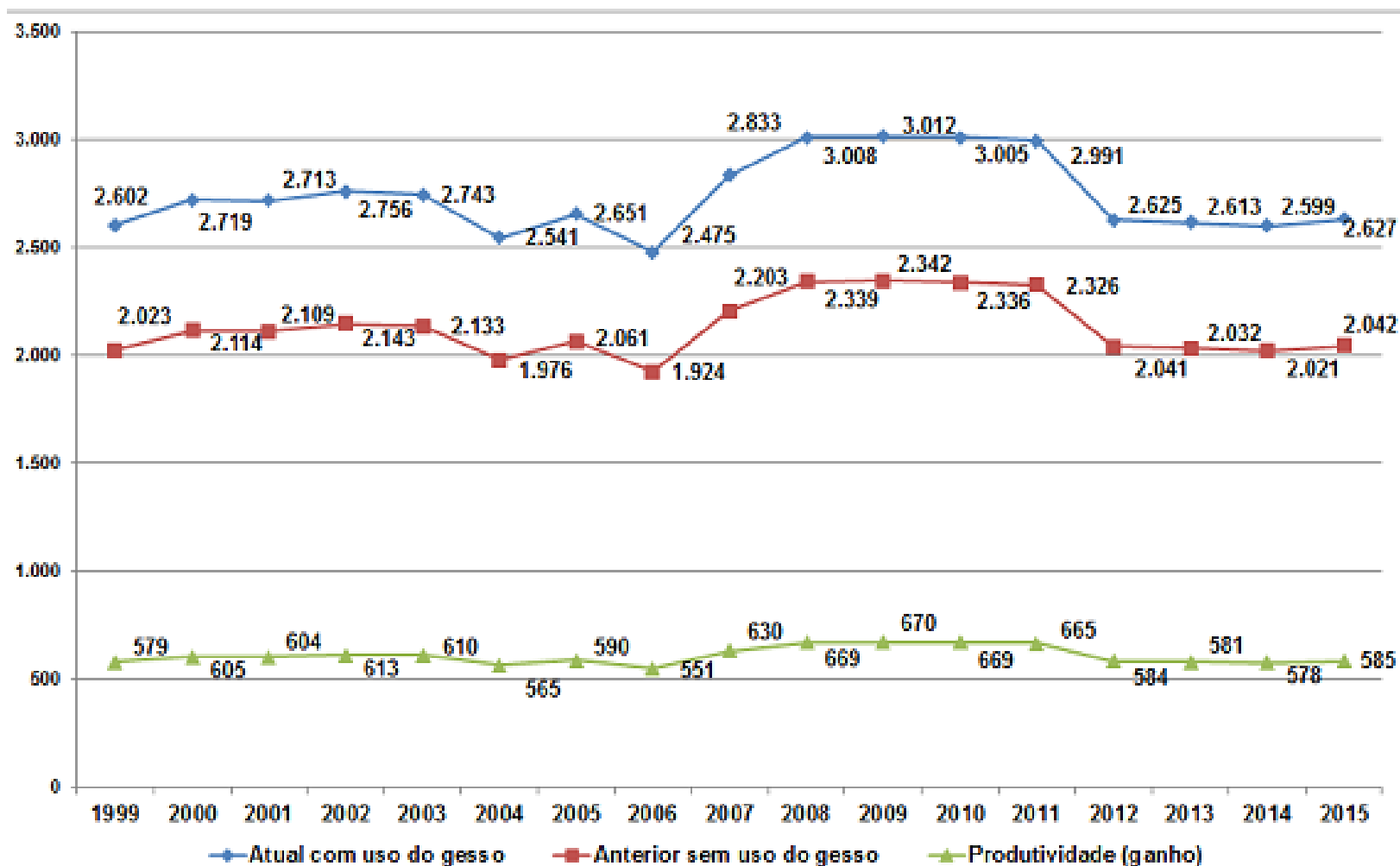
Exemplo de subproduto da mineração que se transformou em insumo agrícola



SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A.; O uso do gesso agrícola em Solos do Cerrado. Circular Técnica 32. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, Janeiro 2005. 19p.

Exemplo de subproduto da mineração que se transformou em insumo agrícola

Gráfico 3.1 - Evolução dos Rendimentos Físicos da Aplicação do Gesso Agrícola na Cultura de Soja em Solo de Cerrado 1999/2015 - (kg/ha).



↑ > 20%

Subprodutos de mineração como remineralizadores

Produtos registrados como remineralizadores de solos

Dezessete (17) produtos registrados e doze (12) estabelecimentos produtores:

3 produtos em Goiás	(biotita xisto e carbonato xisto),
12 produtos em Minas Gerais	(fonolito, kamafugito, siltito glauconítico)
1 produto em Paraná	(blend serpentinito e filito)
1 produto em São Paulo	(diabásio)



Vista geral da Mineração Araguaia, mostrando:

- (I) frente de lavra,
- (II) processo de britagem e moagem,
- (III) bacias de decantação,
- (IV) pilha de finos.

(Fonte: MapLink, 2013).

Grupo Araxá, Unidade B - Produto registrado FMX

Elementos maiores presentes nas amostras. Análises realizadas pelo Laboratório ACME.

Oxidos (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	PF	Total
FMX	57,9	17,4	8,6	3,2	2,3	4,6	1,8	0,08	0,2	0,9	0,022	2,5	99,4

*PF – perda ao fogo

Estimativas da composição mineralógica do FMX a partir do MoDan.

Minerais (%)	Albita	Biotita	Muscovita	Clorita	Quartzo	Granada	Ilmenita	Total
FMX	26,2	21,4	9,7	15,8	19,7	5,7	1,1	99,6

2/3 do K₂O está na forma de biotita = 2,1%

1/3 do K₂O está na forma de muscovita = 1,1%

Grupo Araxá, Unidade B - Produto registrado FMX

Elementos maiores presentes nas amostras. Análises realizadas pelo Laboratório ACME.

Oxidos (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	PF	Total
FMX	57,9	17,4	8,6	3,2	2,3	4,6	1,8	0,08	0,2	0,9	0,022	2,5	99,4

*PF – perda ao fogo

Micronutrientes presentes nas amostras. Análises realizadas pelo Laboratório ACME.

Micronutrientes	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Se (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)
FMX	8,97	0,06	28,5	87	66,6	1,5	0,6	142	37

Elementos potencialmente tóxicos (EPT) presentes nas amostras. Análises realizadas pelo Laboratório ACME (dissolução total).

EPT (ppm)	Th	U	As	Bi	Cd	Hg	Pb	Sb	Tl	Cr	Ni
FMX	9,9	3,7	3,6	<0.1	0,1	<0.01	5,2	<0.1	0,6	164	87



Rejeito de flotação rico em biotita e pirita Mineração Maracá, Chapada GO



Fonte: Embrapa 2006

Mineração Maracá – Rejeito de flotação

Composição química elementos maiores do rejeito de flotação da Mina Maracá, Novorizonte-GO

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	PF ¹	Soma
Muito fino (%)	58,00	14,14	8,27	3,33	3,99	1,37	3,51	0,60	6,88	100,09

Parâmetros físico-químicos do rejeito de flotação da Mina Maracá, Novorizonte-GO

Amostra	>2 mm (%)	2- 0,84 mm (%)	0,84-0,297 mm (%)	<0,297 mm (%)	Densidade (g cm ⁻³)	pH de abrasão
Muito Fino	0,1	2,0	11,3	86,3	0,96	8,28

Composição química elementos traços do rejeito de flotação da Mina Maracá, Novorizonte-GO

Amostra	Mo	Cu	Zn	Ni	Ag	Au	Se	Amostra	Hg	Pb	As	Cd
Muito fino (mg kg ⁻¹)	3,5	572,4	128,0	9,5	0,4	214,4	3,8	Muito fino (mg kg ⁻¹)	0,01	47,4	0,5	0,6



Flogopita xisto
Garimpo de esmeralda da
região de Carnaíba, BA



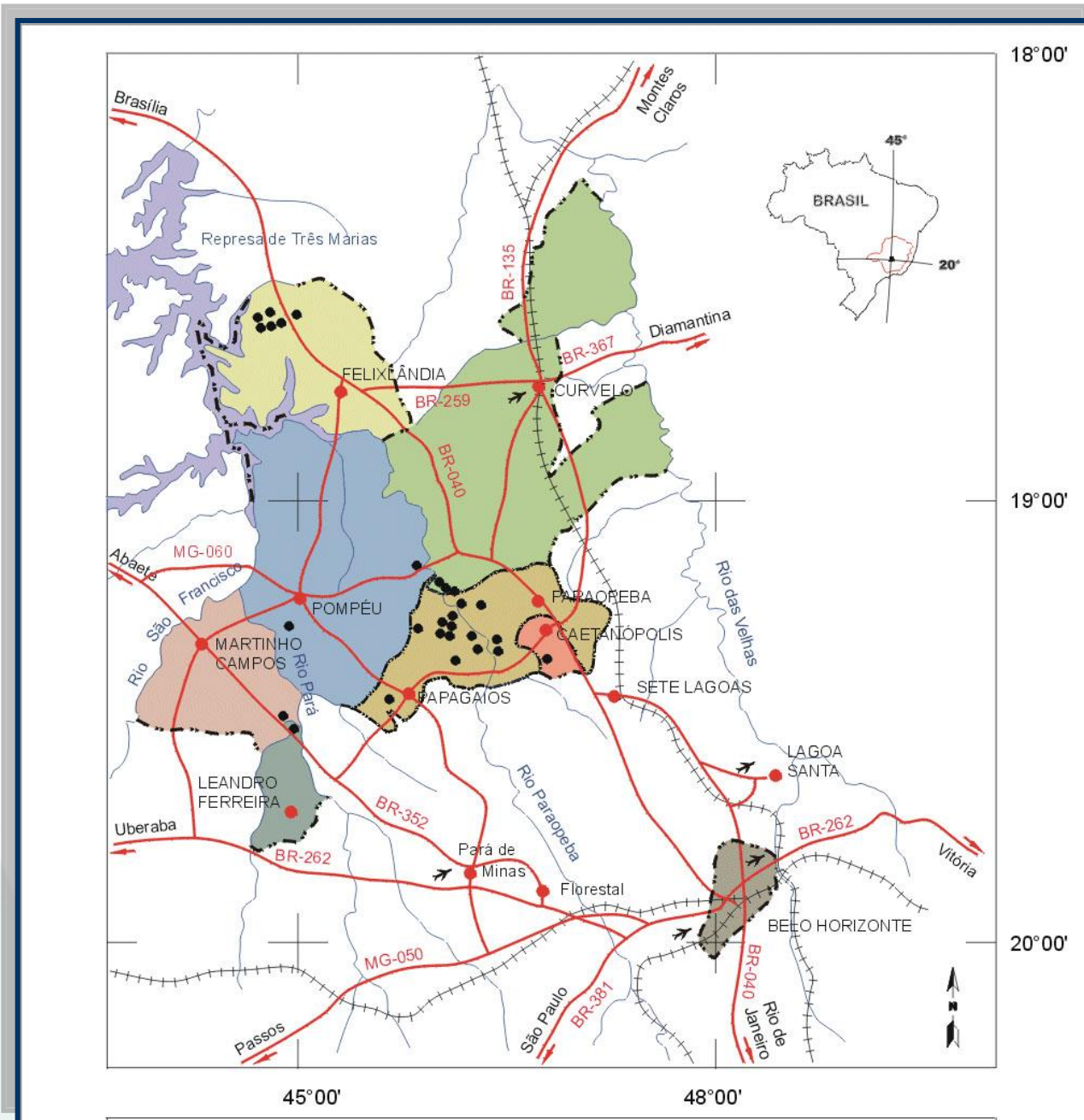
Fonte: Embrapa 2006

Cachoeiro do Itapemirim (ES) Rocha ornamental



Fonte: Google 2019

Rochas ornamentais – Província de Ardósias de MG



Municípios integrantes da Província de Ardósia de Minas Gerais e localização das principais frentes de lavra

Grossi-Sad et al. (1998)
Kistemann e Chiodi (2014)

Composição Mineralógica Modal das Ardósias Bambuí

Minerais (%)	Ardósia Negra	Ardósia Cinza	Ardósia Verde
Quartzo	24-26	26-30	30-32
Mica Branca	31-33	32-34	34-36
Clorita	20-23	18-20	18-20
Feldspato	12-15	12-15	14-15
Carbonato	3-5	2-3	0.5-1
Óxido de Ferro	2-3	2-3	2-3
Material Carbonoso	0.5-1	0.2-0.6	< 0.1

Fonte: Grossi-Sad et al. (1998)

Slide gentilmente cedido por Cid Chiodi (2018)

Composição Química Média (% em peso) das Ardósias Bambuí

Óxidos	Preta	Cinza	Verde	Roxa
SiO ₂	60,95	62,85	64,45	61,20
TiO ₂	0,74	0,79	0,85	0,84
Al ₂ O ₃	15,97	15,47	15,40	16,60
Fe ₂ O ₃	1,80	1,86	2,30	4,50
FeO	4,82	4,57	4,35	3,00
MnO	0,10	0,11	0,12	0,12
MgO	3,07	2,82	2,65	2,70
CaO	1,62	1,16	0,35	0,37
Na ₂ O	1,70	1,72	1,50	1,20
K ₂ O	3,67	3,77	3,85	5,10
H ₂ O ⁺	3,28	2,97	2,99	3,30
CO ₂	1,27	0,91	0,27	0,29
P ₂ O ₅	0,16	0,16	0,14	0,12
C	0,47	0,28	0,07	0,11
Total	99,62	99,44	99,29	99,45

Fonte: Grossi-Sad et al. (1998)

Slide gentilmente cedido por Cid Chiodi (2018)

Congonhas, MG Serpentinito



Fonte: WordPress, 2013

Oportunidades!

Subprodutos gerados por processos físicos:

Desmonte

Britagem

Corte de rochas

Separação de finos

Flotação

Cálcio e Magnésio

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

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, Gabro**)

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**)

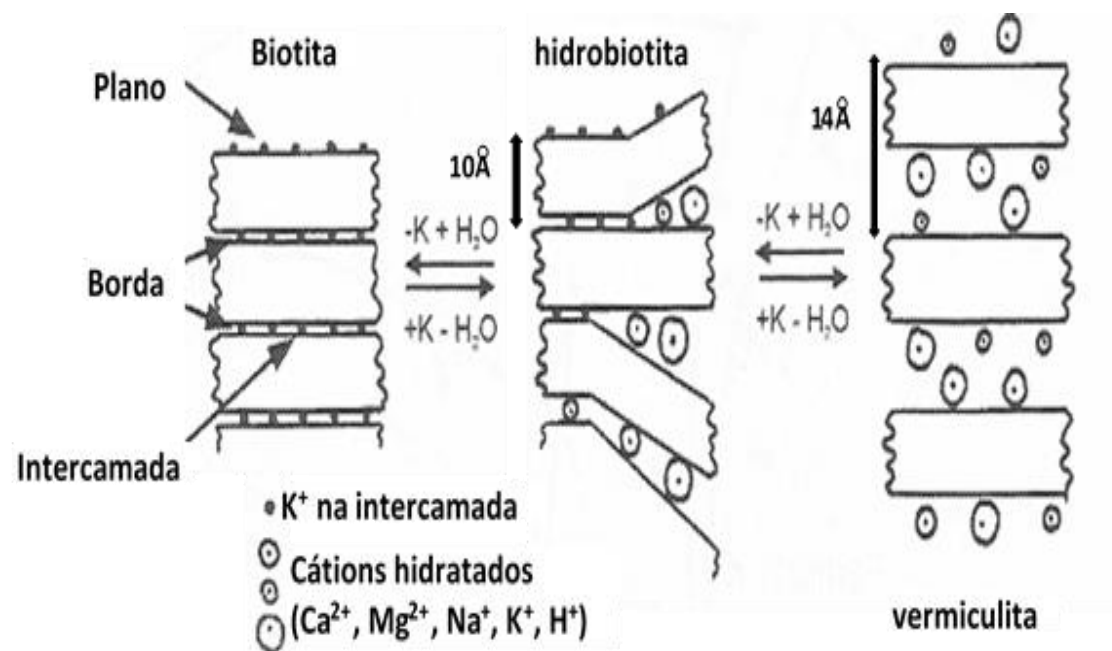
Rochas metamórficas – ricas em biotita. Pode ter bases variáveis e quartzo elevado (**Gnaisses, Xistos**)

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**)

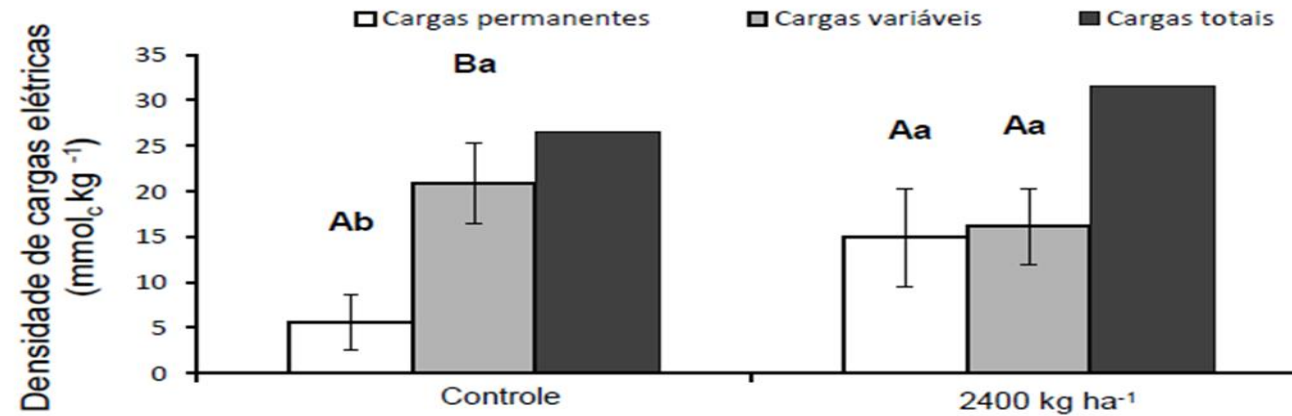
Biointemperismo

Biotita \Rightarrow **Vermiculita** + K + Si + Mg + Fe



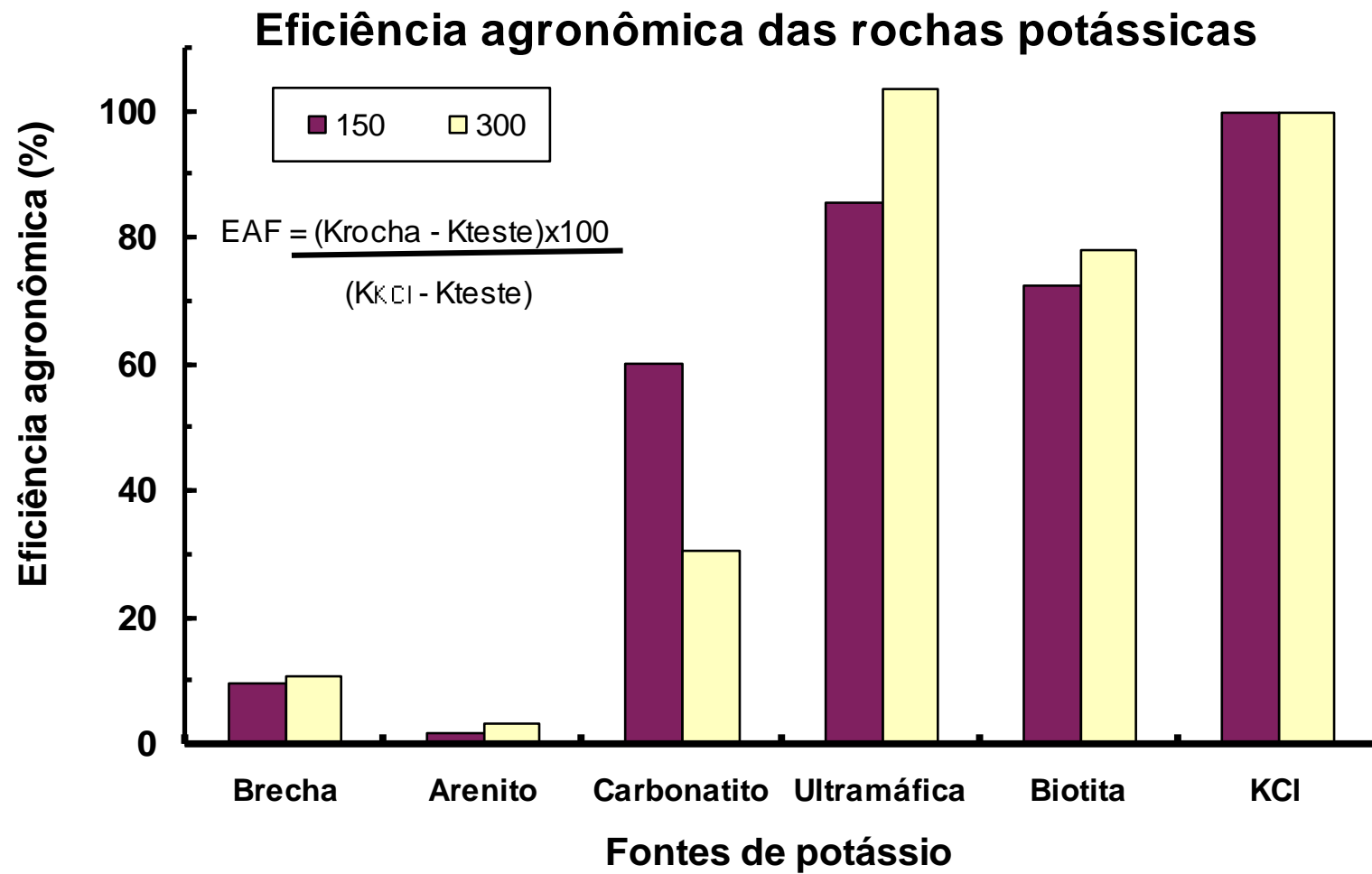
Fonte: Van Straaten (2007)

Formação de carga superficial

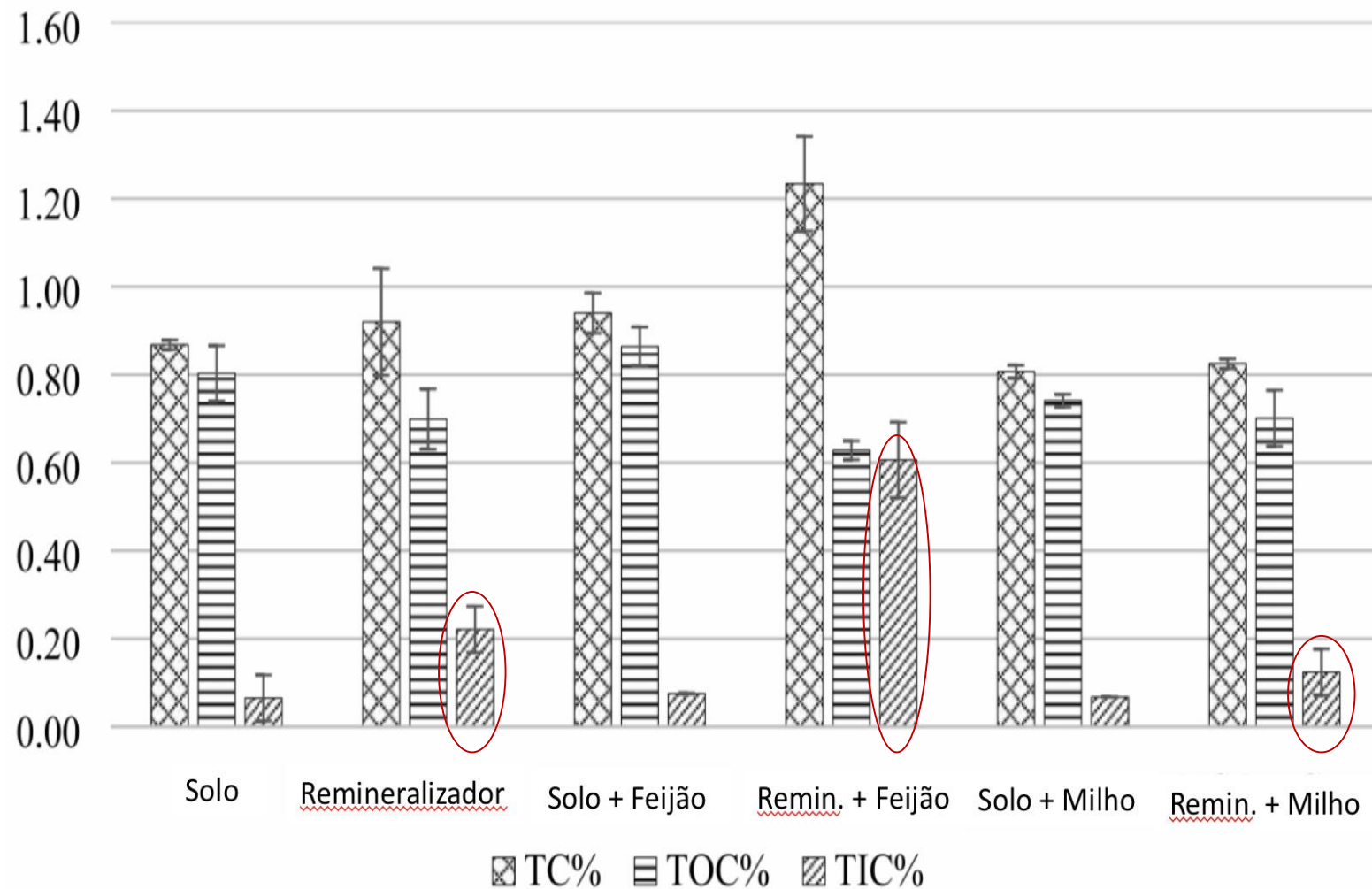


SANTOS, L.F.; RODRIGUES, L.M.; MACHADO, L.L.; MOL, A.R.; SODRÉ, F.F.; BUSATO, J.G. CUNHA, J.C.; RUIZ, H.A.; FREIRE, M.B.G.; ALVAREZ, V.H.; FERNANDEZ, R.B. (2015) Cargas elétricas e liberação de nutrientes num Latossolo sob adição de sienito finamente moído. XXXV CBCS, Natal-RN, Resumos. Disponível: <http://www.cbcs2015.com.br/anais/index.php#menuanais>

Disponibilização de nutrientes



Aumento de carbono no solo



Teor de carbono no solo (total, orgânico e inorgânico) no final do período de crescimento (55 dias).



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



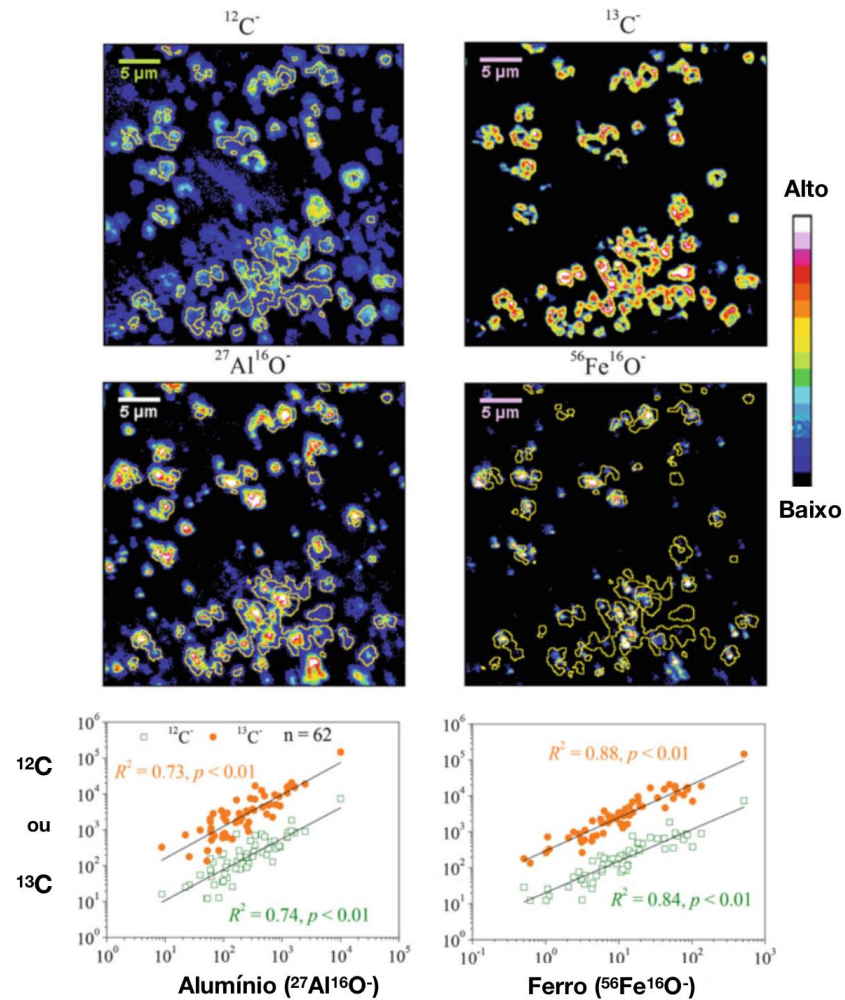
Emissions and net sequestration in kt CO_{2eq} for the implementation of the practice considering the area included under each buffer zones (with application rate of 5 t/ha).

Distance Quarry - Field [km]	Agricultural Area covered [Million ha]	Application Rate: 5 t/ha			Loss Ratio (Carbonation)
		GHG balance ^a	Net sequestration (Carbonation) ^a	Net sequestration (EW) ^a	
13	0.781	31.6	456	843	6.5%
19.5	0.835	38.4	483	897	7.4%
26	0.999	51.3	573	1,067	8.2%
39	2.17	135	1,223	2,298	10.0%
65	3.57	300	1,931	3,698	13.5%
97.5	2.19	244	1,123	2,206	17.8%
130	0.814	113	396	798	22.2%
195	0.222	42.8	95.8	206	30.9%
260	0.102	25.2	38.3	88.7	39.6%
325	0.000376	0.114	0.121	0.307	48.4%
TOTAL	11.7		6.32	12.10	

^a Emissions and sequestration values for the area covered under the considered buffer zone. In kt CO_{2eq}.

1,3 Mt e 2,4 Mt CO_{2eq} para a carbonatação e *enhanced weathering*, respectivamente
São Paulo – **1 t ha⁻¹** em **12 M hectares**

Estabilidade do carbono na superfície dos minerais



Rotulagem isotópica de retenção de C pelos minerais amorfos (Al e Fe). (a) Mapa de distribuição de elementos de ^{12}C , ^{13}C , $^{27}\text{Al}^{16}\text{O}$ e $^{56}\text{Fe}^{16}\text{O}$ (24 h de incubação de aminoácidos marcados com amostras de solo). (b) A relação linear entre ^{12}C , ^{13}C e $^{27}\text{Al}^{16}\text{O}$, $^{56}\text{Fe}^{16}\text{O}$ (contagem de íons por nanoSIMS)

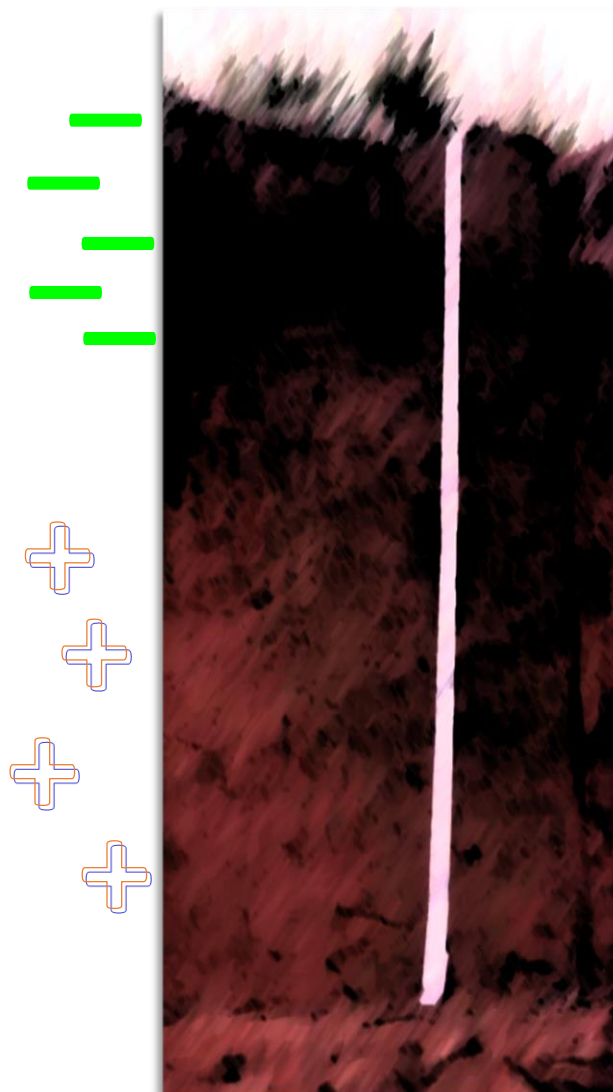
CONSTRUÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO



Remineralização de solos

Formação de camada superficial

Alta capacidade de troca de cátions (CTC)



Cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+

Alta capacidade de troca de ânions (CTA)

Anions: SiO_4^{-4} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_4^-

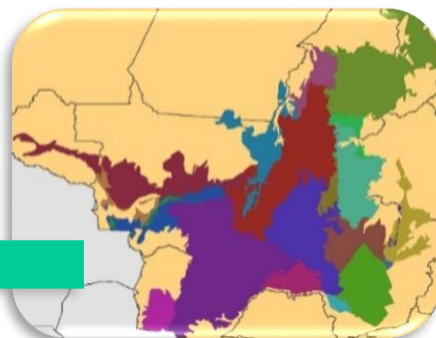
- 1. Agrogeologia:** Estudo dos solos agrícolas e das fontes de nutrientes, remineralizadores e condicionadores de solo regionais;
- 2. Seleção de agrominerais:** Função da disponibilidade, composição química, mineralógica, e eficiência agronômica;
- 3. Produção de agrominerais:** Definição da tecnologia 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



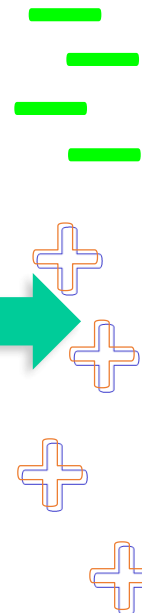
2. Seleção de agrominerais



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...

Grato
eder.martins@embrapa.br



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

