



Cadeia Emergente dos Remineralizadores: Solução regional no manejo da fertilidade do solo

Eder de Souza Martins

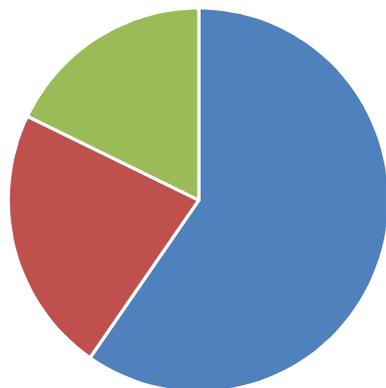
Pesquisador da Embrapa Cerrados

eder.martins@embrapa.br

+55 61 99209-8726

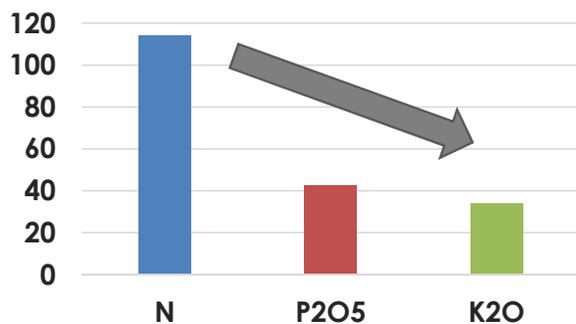
Commodities fertilizantes (NPK)

2017 (Mundo)



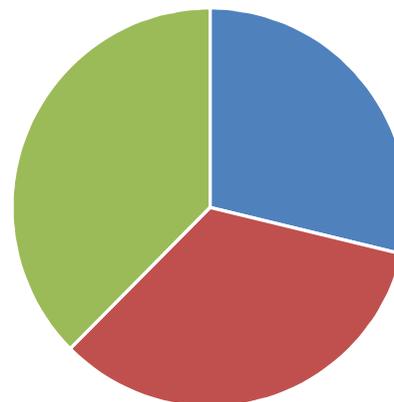
■ N ■ P2O5 ■ K2O

2017 – Mundo (10⁶ ton)



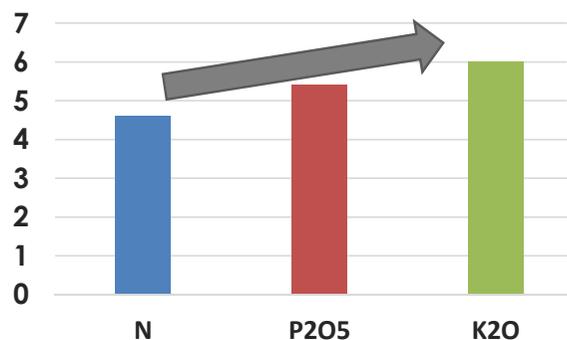
Fonte: <http://www.fao.org/3/a-i6895e.pdf>

2017 (Brasil)



■ N ■ P2O5 ■ K2O

2017 – Brasil (10⁶ ton)



Fonte: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>

Brasil

Consumo NPK (2021)
42 milhões de toneladas

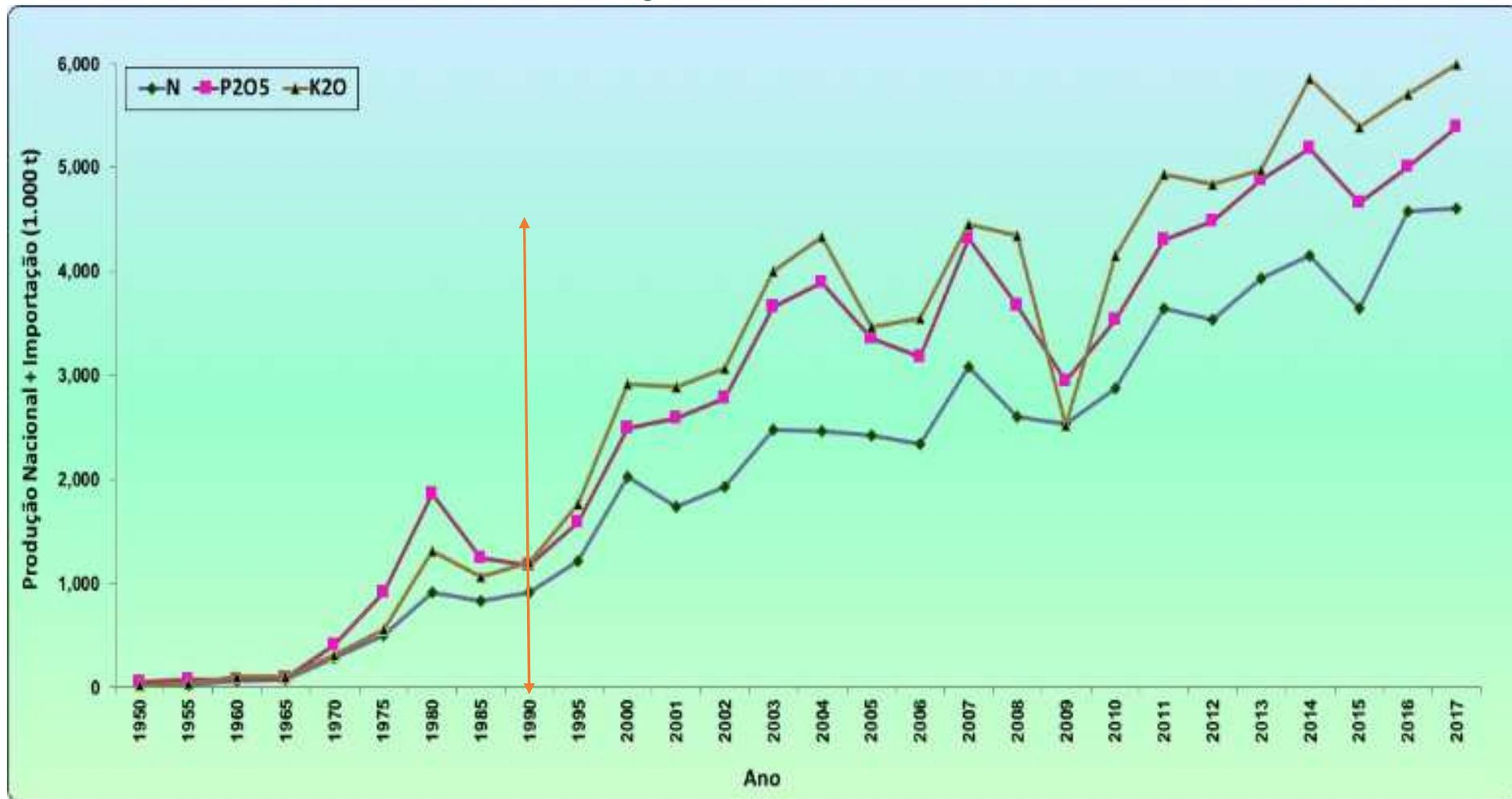
Depende de
85% de insumos importados

Crescimento de consumo
14% ao ano

Fonte:
http://anda.org.br/pesquisa_setorial/



Dependência Externa



K₂O: 96%

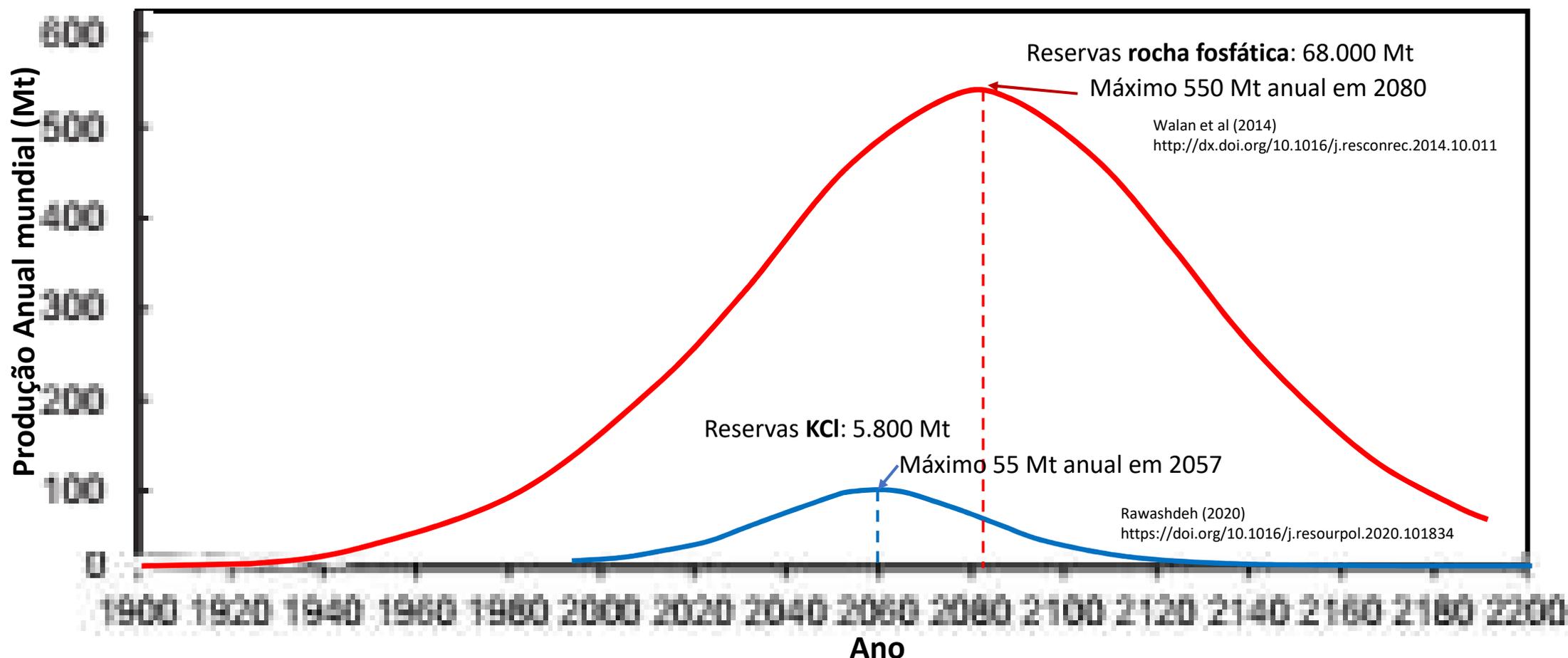
P₂O₅: 55%

N: 76%

Fonte: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>



Limitações das commodities fertilizantes para a segunda metade do século XXI



Tipos de agrominerais

Classe de ânion		Tipo de rochas*	Cations principais	Cobertura da crosta (% área) ¹⁰	Solubilidade em água
Cloreto	Cl ⁻¹	Depósitos evaporíticos (sedimentar)	K ⁺	0,0	Muito alta
Sulfato	SO ₄ ²⁻	Depósitos evaporíticos (sedimentar) ⁴	Ca ²⁺ (Mg ²⁺ , K ⁺)	0,0	Muito alta
Carbonato	CO ₃ ²⁻	Calcário (sedimentar) ¹ Carbonatito (ígneo) ² Mármore (metamórfico) ³	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	10,0	Baixa
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	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , 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).



Processos de Dissolução de Agrominerais

Dissolução congruente

Dissolução total; todos os componentes dissolvidos em água

- Carbonato* – CO_4^{2-} , Ca^{2+} e Mg^{2+}
- Sulfato* – SO_4^{2-} e Ca^{2+} (Mg^{2+} , K^+)
- Cloreto* – Cl^- e K^+
- Fosfato* – PO_4^{3-} e Ca^{2+}
- Silicato* – H_3SiO_4^- e Ca^{2+} (Mg^{2+})

Dissolução total

Dissolução incongruente

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

Dissolução parcial

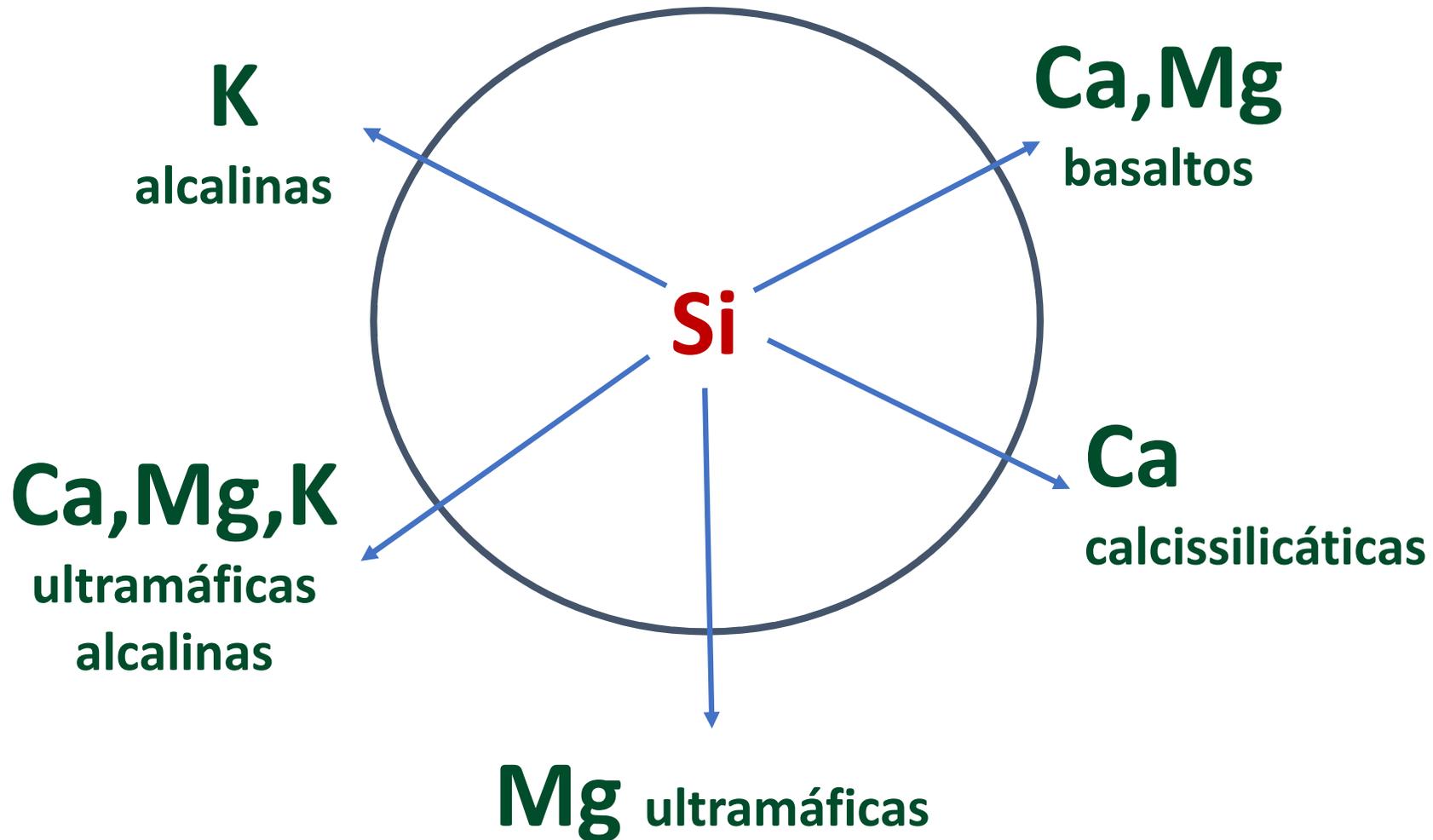
Dissolução parcial de H_3SiO_4^- e Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ; formação de argilominerais 2:1 e minerais amorfos

Alta CTC e elevada carga negativa permanente

Agromineral
silicático



Agrominerais silicáticos



Agrominerais regionais para a agricultura

Calcários

- Corretivo de acidez e do alumínio tóxico
- Cálcio e magnésio

Fosfato natural reativo

- Fósforo e cálcio

Sulfatos naturais

- Corretivo de alumínio tóxico
- Enxofre e cálcio; potássio, magnésio

Agrominerais silicáticos (fertilizantes e remineralizadores)

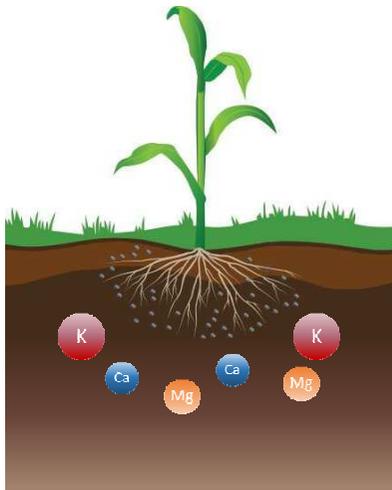
- Superfície específica e CTC, corrige o Al tóxico reação com o Si
- Multinutriente



Agrominerais silicáticos

Matérias-primas derivadas de rochas silicáticas para produção de insumos minerais destinados ao manejo da fertilidade do solo (Martins et al., 2014).

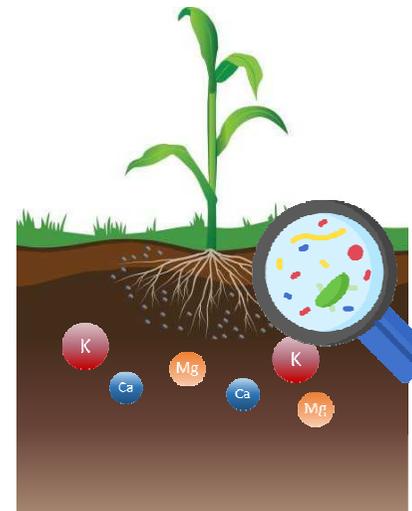
Fertilizantes naturais ou industriais



K, Ca, Mg, Si, Fe, Mn,
B, Zn, Cu, Mo...

Krahl (2020)

Remineralizadores de solos



Aumenta a CTC

Aumenta o pH do solo

Diminui a perda de nutrientes

Estimula a atividade biológica do solo e das raízes

Forma novas fases minerais no solo





Formação de novas fases

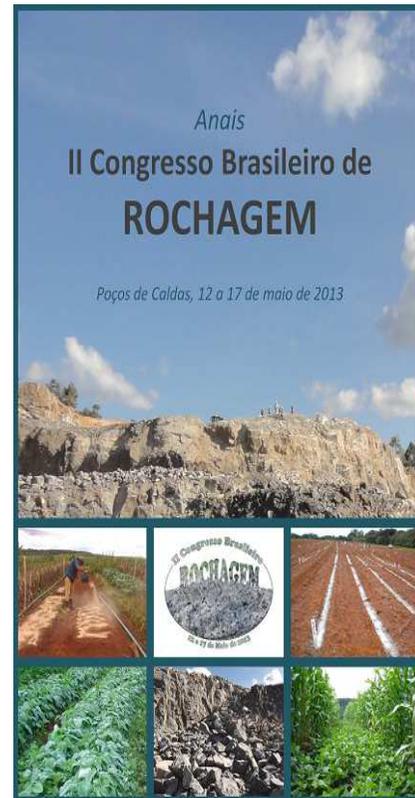
Remineralização

Correção do solo

Fornecimento de nutrientes



Agrogeologia no Brasil



Potencial de rochas silicáticas

Magnesiano

- Rochas ultramáficas (dunito, piroxenito, serpentinito) - Si, Mg, Fe, Ni...

Cálcico

- Rochas calcissilicáticas (calcixisto) - Si, Ca, Zn, (P)...

Potássico

- Rochas metamórficas, sedimentares, alcalinas (biotita xisto, siltito glauconítico, fonolito, sienito) - Si, K, Zn, Mn...

Cálcio-magnesiano

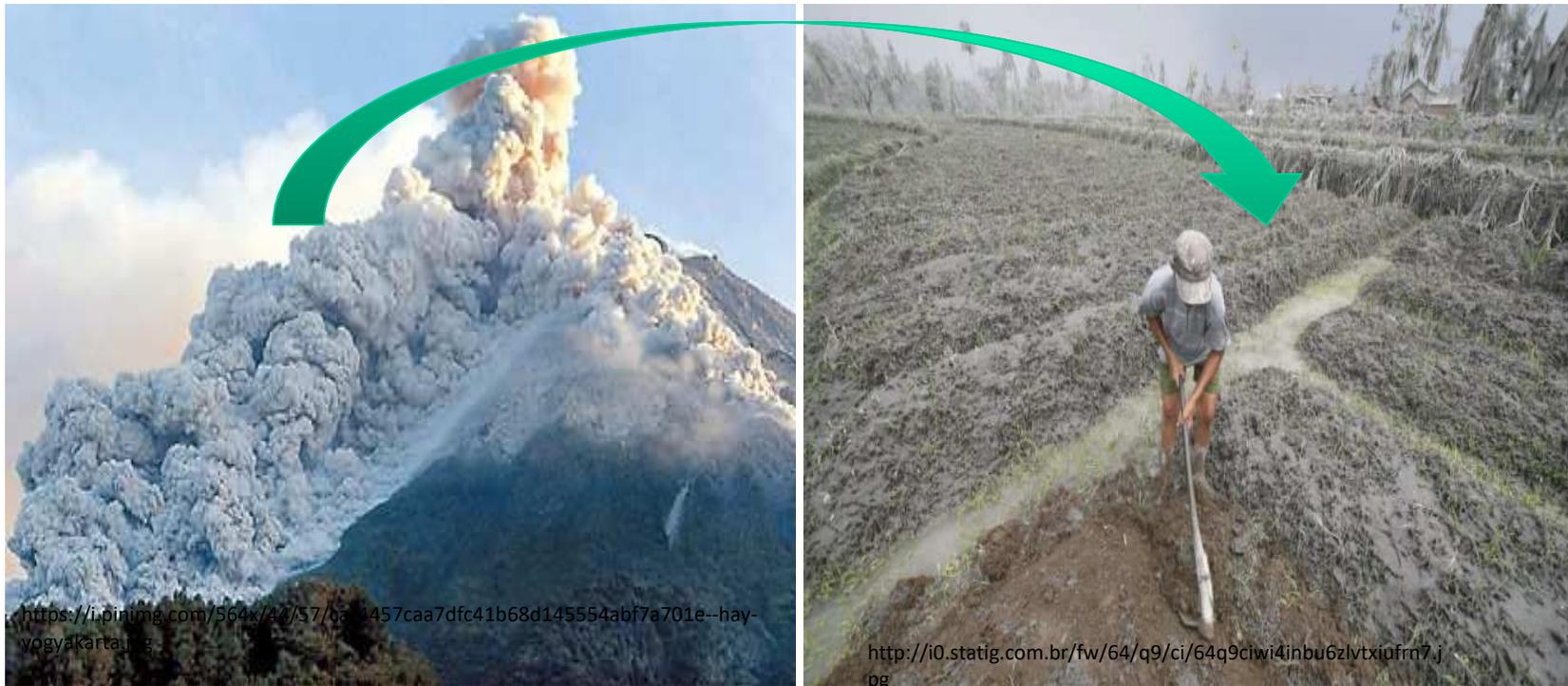
- Rochas básicas (basalto, diabasio, anfibolito, granulito) - Si, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, (P)...

Cálcio-magnésio-potássico

- Rochas ultramáficas alcalinas (kamafugitos) - Si, Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Ni, Cu, Mn...



Deposição de cinza vulcânica Monte Merapi, Indonésia (2010)



Moagem natural

**Erupção vulcânica,
movimento de glaciares,
erosão de rochas**



Transporte natural

Glacial, eólica, fluvial



Deposição natural

**Sedimentação glacial,
eólica, fluvial**



Processo de remineralização de solos



Moagem antrópica

Explosão e britagem



Transporte antrópico

Rodoviário e ferroviário



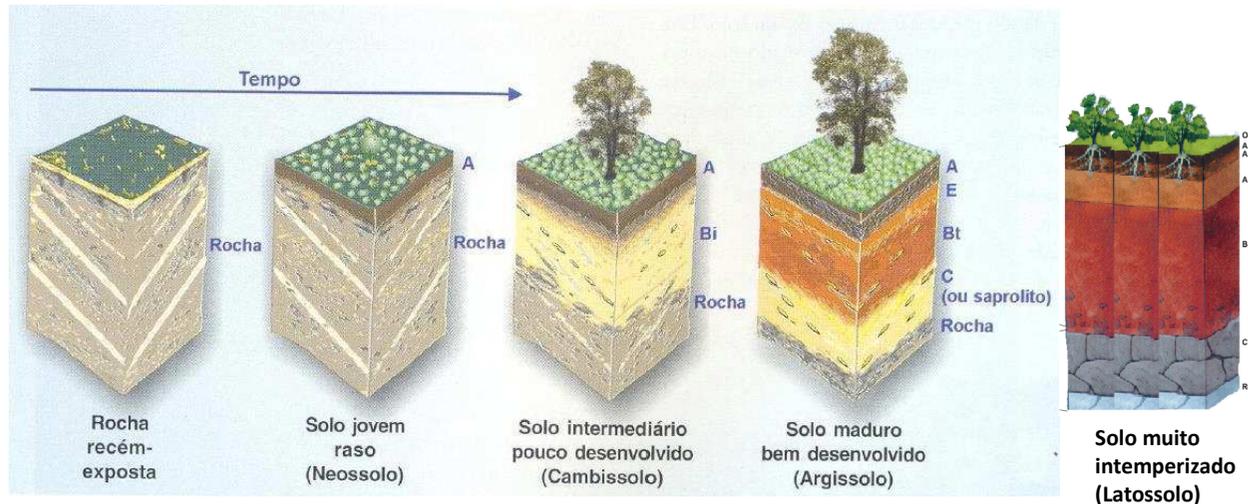
Deposição antrópica

A lança mecanizada



Intemperismo

Formação de solos



Minerais primários

Origem Si, Ca, Mg, K



Argilominerais 2:1

Manutenção parcial do Si, Ca, Mg, K
Minerais expansivos, retenção de água,
Retenção de cátions

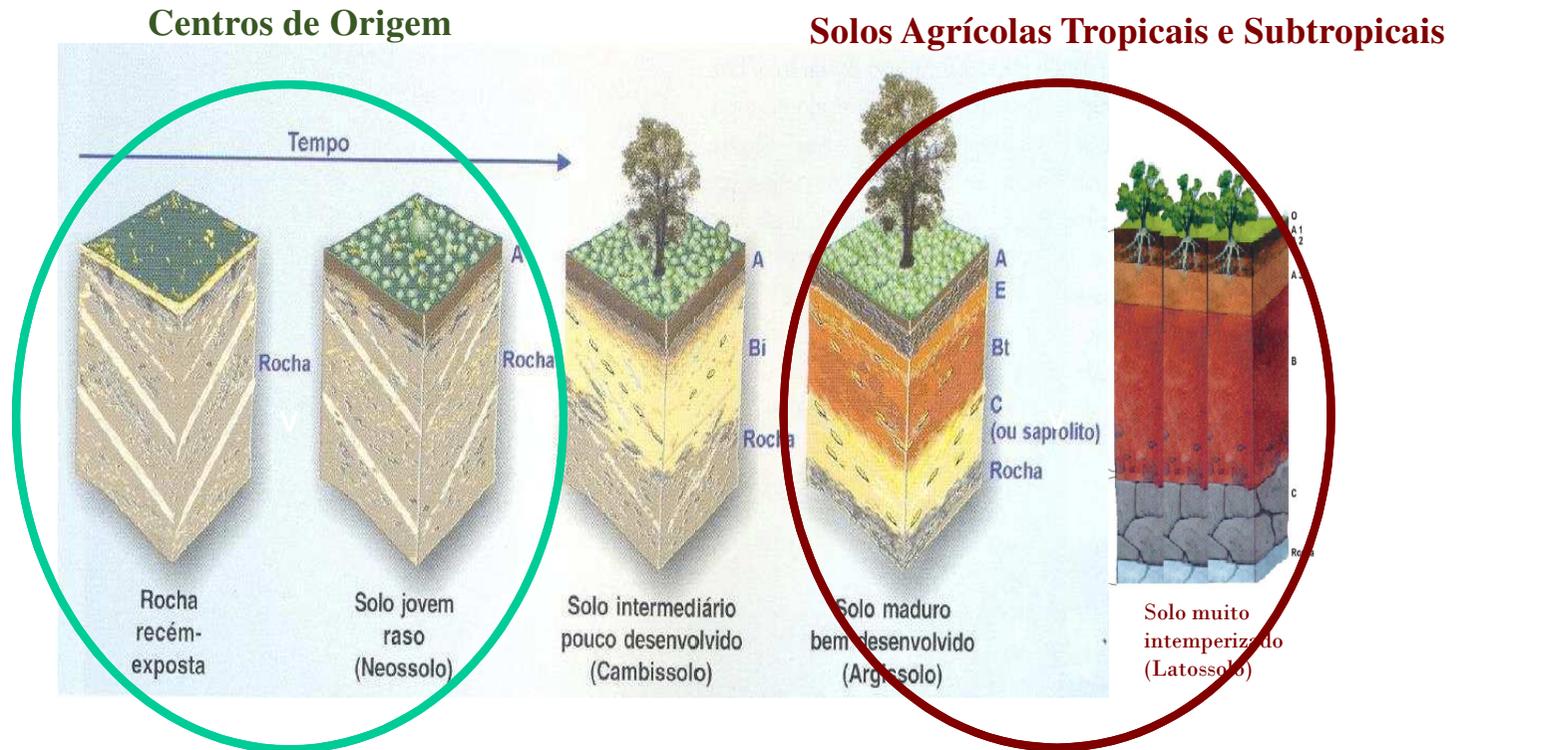


Óxidos de ferro e de alumínio

Perda total do Si, Ca, Mg, K
Minerais não expansivos,
Baixa retenção de água e cátions
Retenção de ânions



Centros de Origem



Minerais primários

Origem Si, Ca, Mg, K



Argilominerais 2:1

Manutenção parcial do Si, Ca, Mg, K
Minerais expansivos, retenção de água,
Retenção de cátions

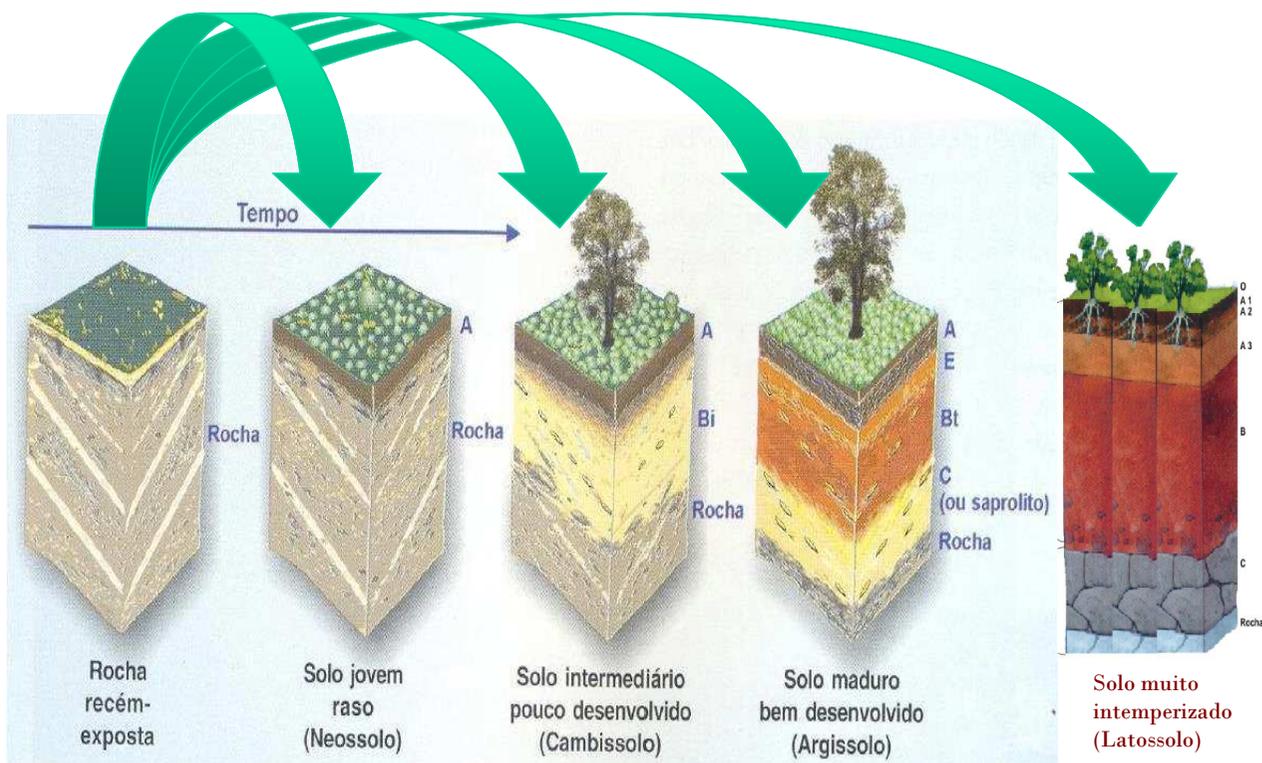


Óxidos de ferro e de alumínio

Perda total do Si, Ca, Mg, K
Minerais não expansivos,
Baixa retenção de água e cátions
Retenção de ânions



RE-MINERALIZAÇÃO de Solo



Aplicação de minerais jovens e ricos em nutrientes e de elevada superfície específica em solos intemperizados



Remineralizadores de solos como insumos multifuncionais

Condicionador e Corretivo do solo

- Aumenta o pH do solo
- Diminui o Al trocável do solo
- Aumenta a eficiência de uso de nutrientes
- Estimula a atividade biológica do solo e das raízes das plantas cultivadas
- Aumenta da Capacidade de Retenção de Água do solo

Fertilizante

- Multinutriente - disponibiliza K, Ca, Mg, Si, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Se, Mo...

Formação de novas fases minerais

- Aumenta CTC pela formação de argilominerais 2:1 e minerais de baixa cristalinidade
- Gera camada de solo estável no longo prazo



Produção de Agrominerais Silicáticos por Estado



Produção de Agrominerais Silicáticos por Estado

MAPEAMENTO DAS EMPRESAS BRASILEIRAS PRODUTORAS DE REMINERALIZADORES DE SOLOS - 2021



Estados	Principais Rocha Utilizada na Produção
Bahia	Gnaiss e Piroxênio
Goiás	Basalto, Calcixisto e Micaxisto
Maranhão	Basalto
Minas Gerais	Saprólito de Kamafugito, Anfibólito, Serpentinó, Siltito Glauconítico, Filito, Calcário, Fonólito e Sienito
Mato Grosso Do Sul	Basalto
Santa Catarina	Varvito
Paraná	Basalto, Serpentinó, Filito, Microgabro e Dacito
São Paulo	Dacito, Diabásio e Basalto



Produção de Agrominerais Silicáticos por Estado

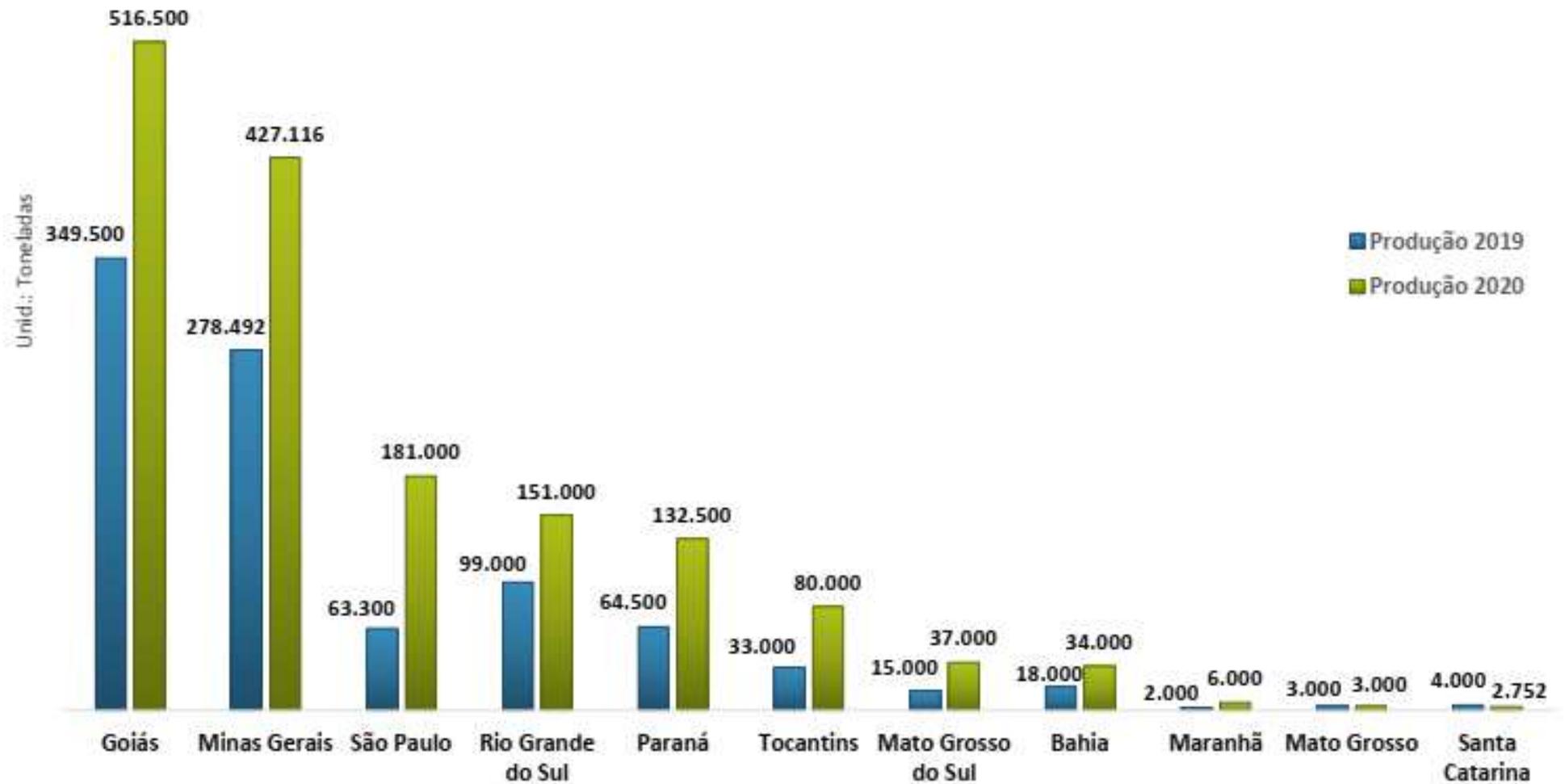
1.1 PRODUÇÃO DE AGROMINERAIS SILICÁTICOS POR ESTADO

Estados	2019	2020	2019/2020
Goiás	349.500	516.500	48%
Minas Gerais	278.492	427.116	53%
São Paulo	63.300	181.000	186%
Rio Grande do Sul	99.000	151.000	53%
Paraná	64.500	132.500	105%
Tocantins	33.000	80.000	142%
Mato Grosso do Sul	15.000	37.000	147%
Bahia	18.000	34.000	89%
Maranhã	2.000	6.000	200%
Mato Grosso	3.000	3.000	0%
Santa Catarina	4.000	2.752	-31%
TOTAL	929.792	1.570.868	69%

Fonte: Embrapa (2021); SGM-DTTM.



Produção de Agrominerais Silicáticos por Estado

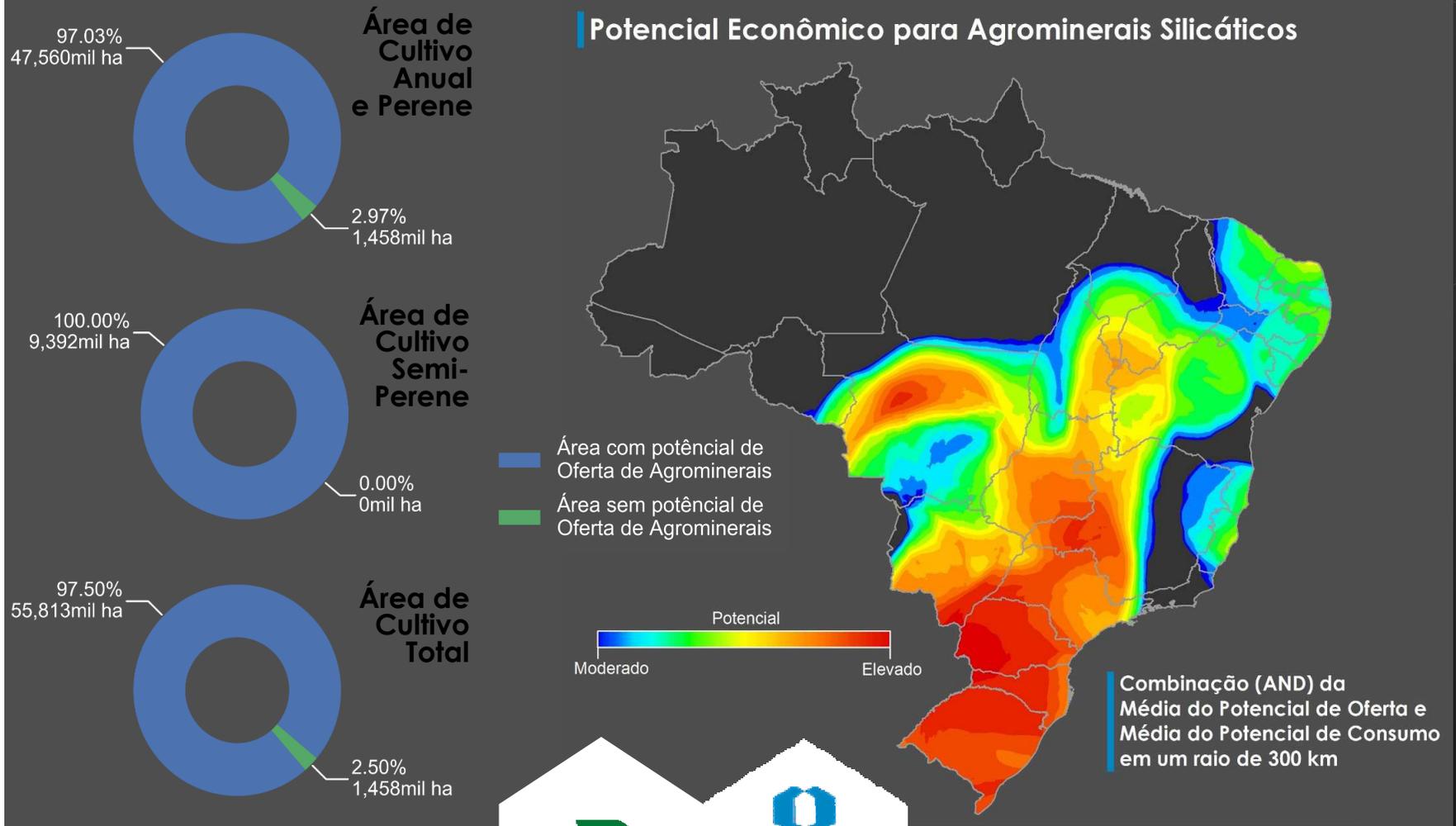


Fonte: Embrapa (2021); SGM-DTTM.





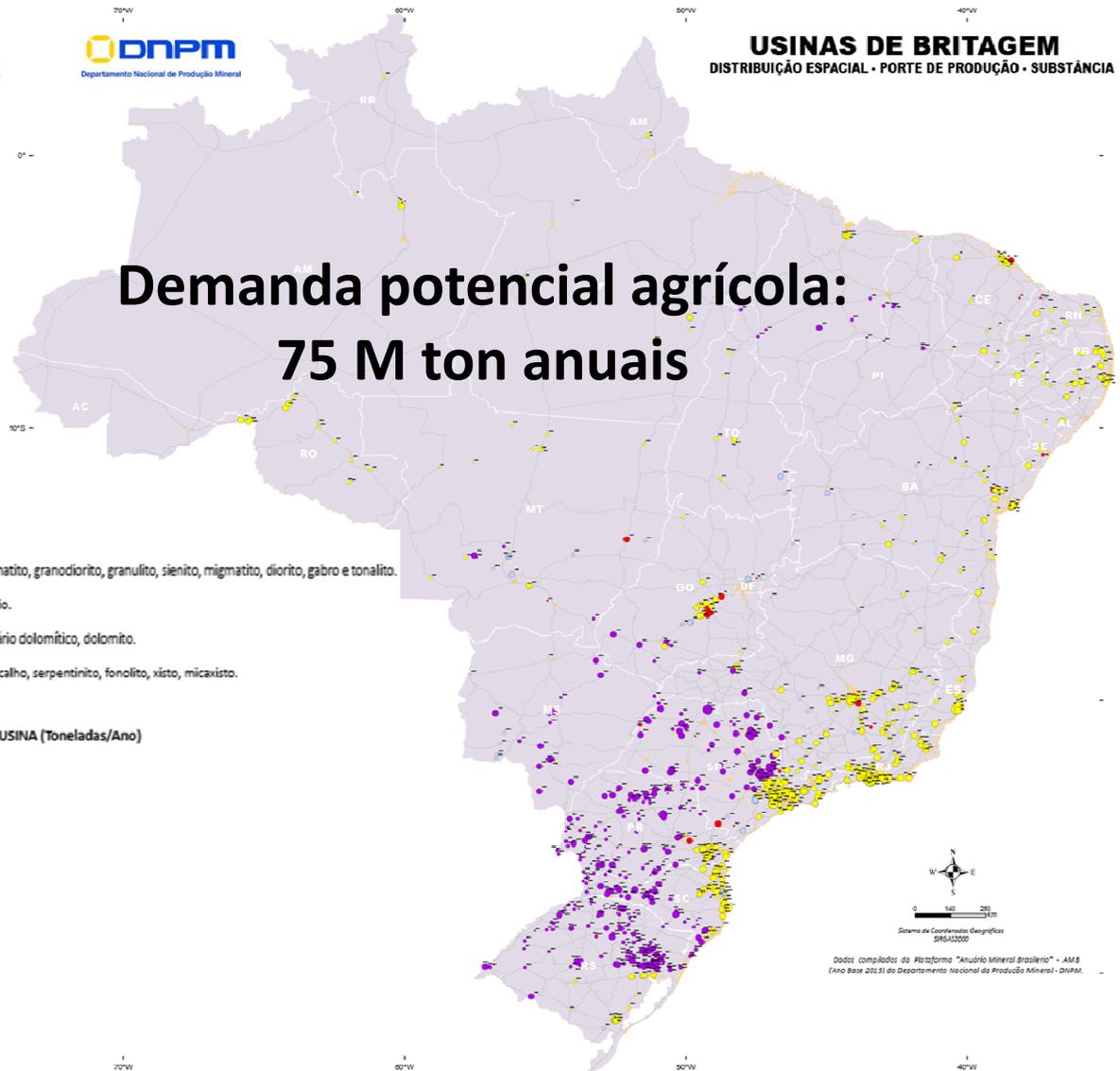
Potencial Econômico para Agrominerais Silicáticos



Distribuição das pedreiras produtoras de brita no país (Brasil, 2018, anexo)

600 empresas ativas
500 com potencial agrícola

Produção de brita:
250 M ton anuais



Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>

Ministério de Minas e Energia

Economia circular



Aproveitamento de resíduos



Baixo impacto ambiental e elevado retorno social



**PROGRAMA MINERAÇÃO
E DESENVOLVIMENTO**
PLANO DE METAS E AÇÕES 2020/2023

Objetivos ODS



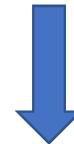
Redução de desigualdades regionais



Conhecimento de bens minerais



Zoneamento Agrogeológico



Pesquisa sobre remineralizadores



<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/progrma-mineracao-e-desenvolvimento/progrma-mineracao-e-desenvolvimento-pmd-2020-2023.pdf/view>



PNF: Cadeias NPK e Emergentes (REM, Nano, Bio)



“...o País precisa investir em um Programa de Desenvolvimento de Remineralizadores, que envolve a pesquisa mineral, a pesquisa agrônômica e o financiamento de processos de beneficiamento. As instituições de pesquisa agropecuária e mineral, capitaneadas pela Embrapa e SGB/CPRM, devem liderar os estudos básicos regionais para o desenvolvimento dos REM...”

SECRETARIA ESPECIAL DE
ASSUNTOS ESTRATÉGICOS



Grato

eder.martins@embrapa.br

