

# Zoneamento Agrogeológico para o desenvolvimento de soluções regionais no manejo da fertilidade do solo

**Eder de Souza Martins**

Pesquisador da Embrapa, Professor Pós-graduação UnB, UFG, UFCAT

[eder.martins@embrapa.br](mailto:eder.martins@embrapa.br)

+55 61 99209-8726, Projeto REMAg - FINEP

# Agrogeologia

## DEFINIÇÃO

Ciência de interface que estuda **processos geológicos** que influenciam a **distribuição e formação dos solos agrícolas**, bem como a **aplicação de materiais geológicos regionais** em sistemas agrícolas e florestais como forma de manter e **melhorar a produtividade do solo para o aumento dos benefícios sociais, econômicos e ambientais**.

(Adaptado de Chesworth, 1993)



# Agrogeologia

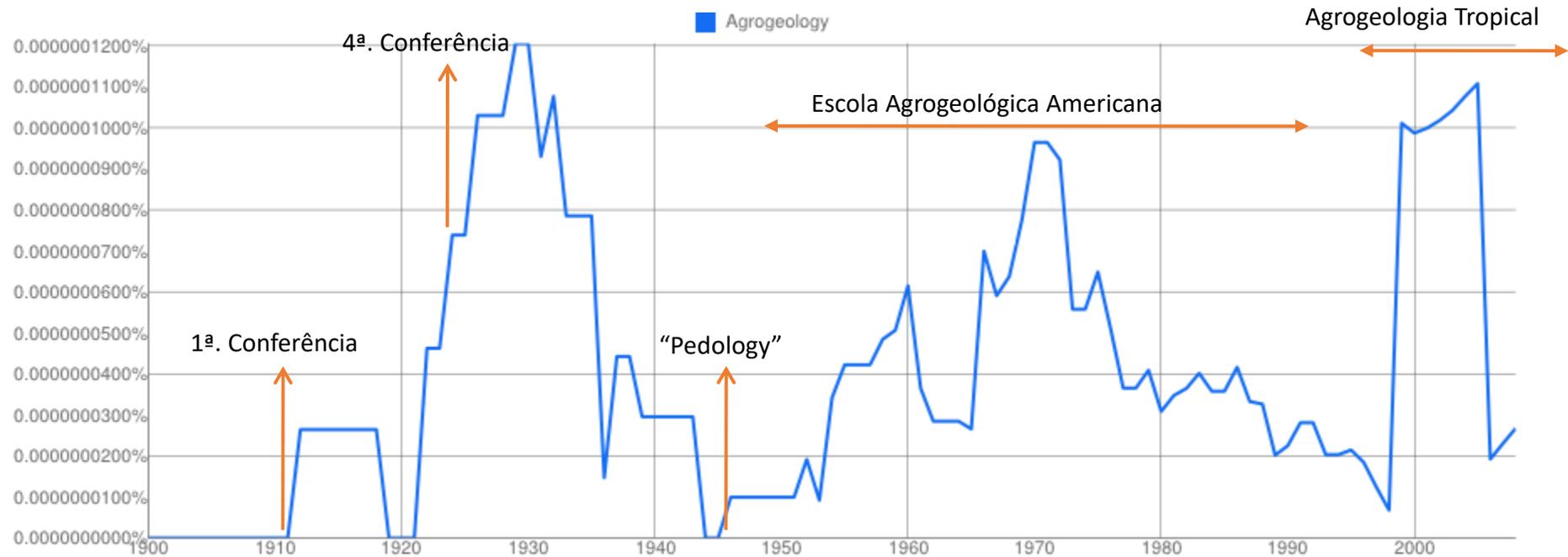
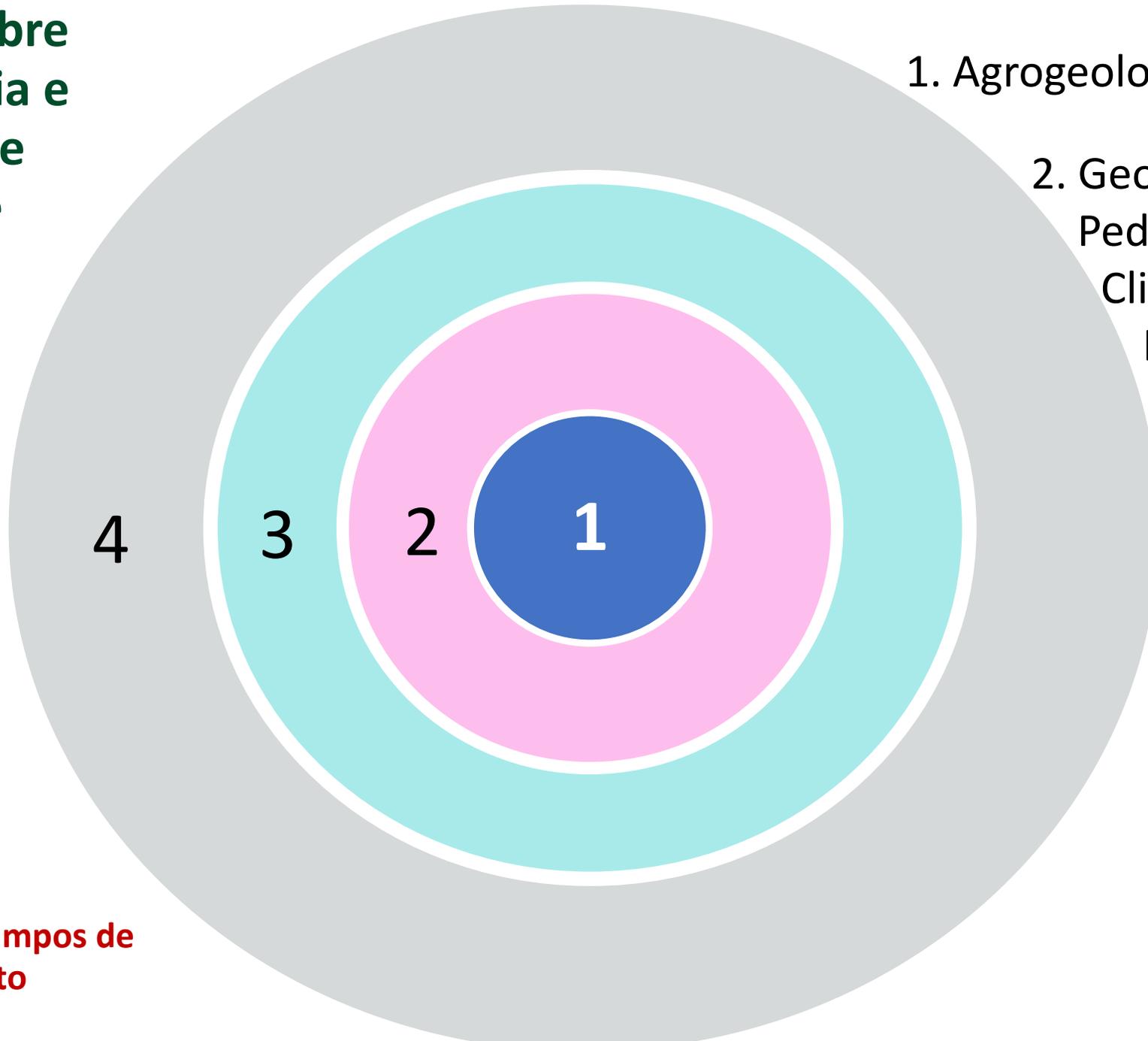


Diagrama de frequência do termo “Agrogeology” em livros digitalizados pela Google.  
Em torno de 2500 textos com citações no total.

NGRAM Viewer - [http://books.google.com/ngrams/graph?content=Agrogeology&year\\_start=1900&year\\_end=2008&corpus=0&smoothing=3](http://books.google.com/ngrams/graph?content=Agrogeology&year_start=1900&year_end=2008&corpus=0&smoothing=3)



**Pesquisa sobre  
Agrogeologia e  
ciências de  
interface**



1. Agrogeologia

2. Geologia  
Pedologia

Climatologia  
Hidrologia  
Ecologia

3. Agronomia

4. Segurança Alimentar  
Saúde humana  
Biodiversidade  
Segurança hídrica  
Mudança climática  
Uso da Terra

4

3

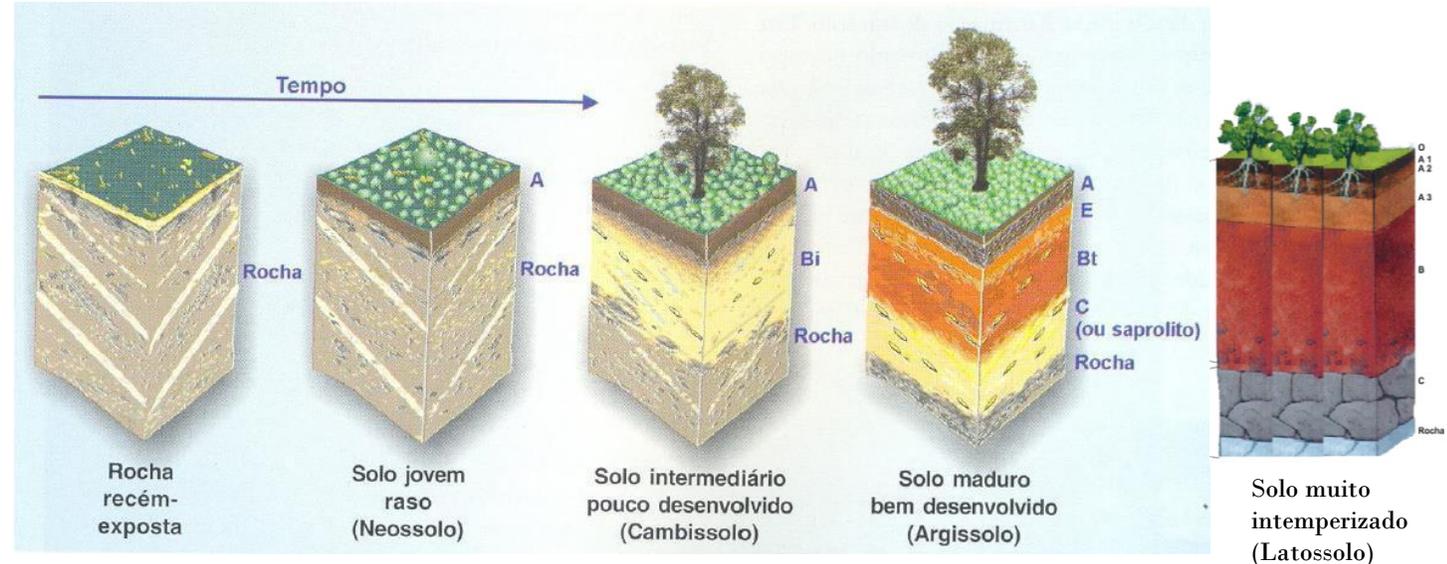
2

1

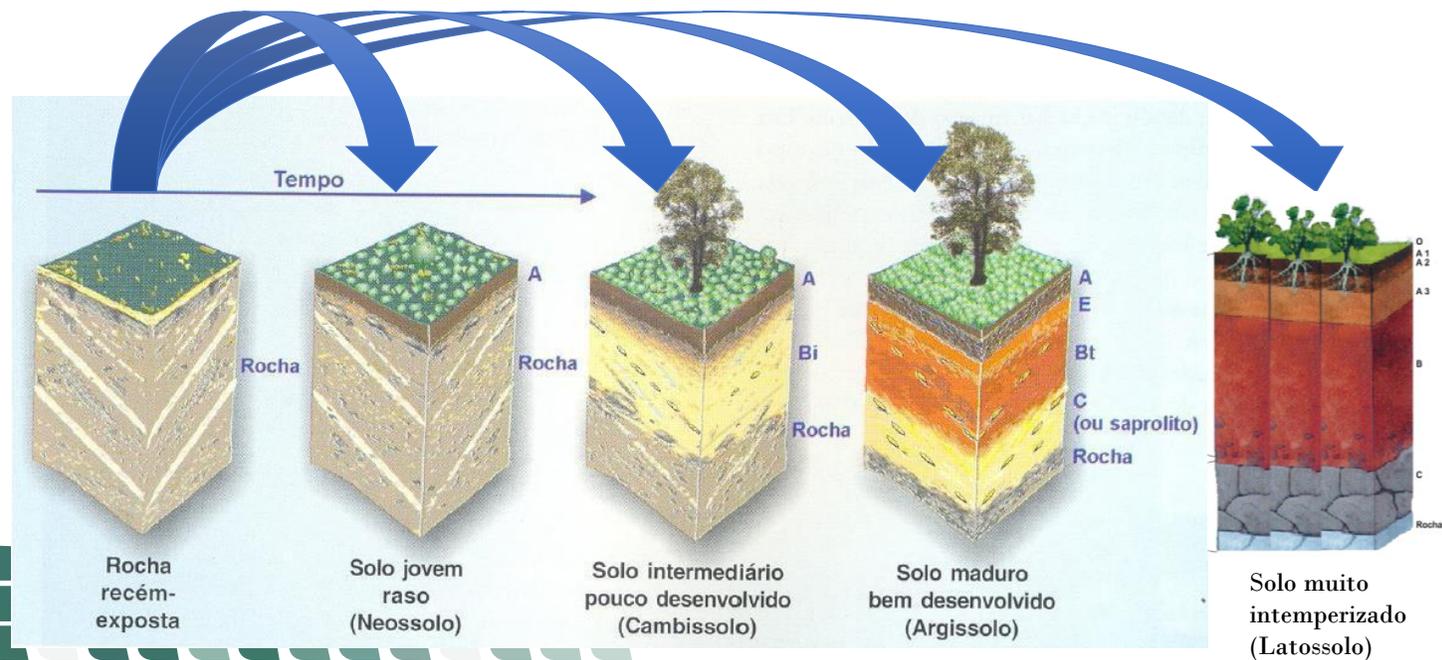
**Contribuição dos campos de  
conhecimento**

# Agrogeologia

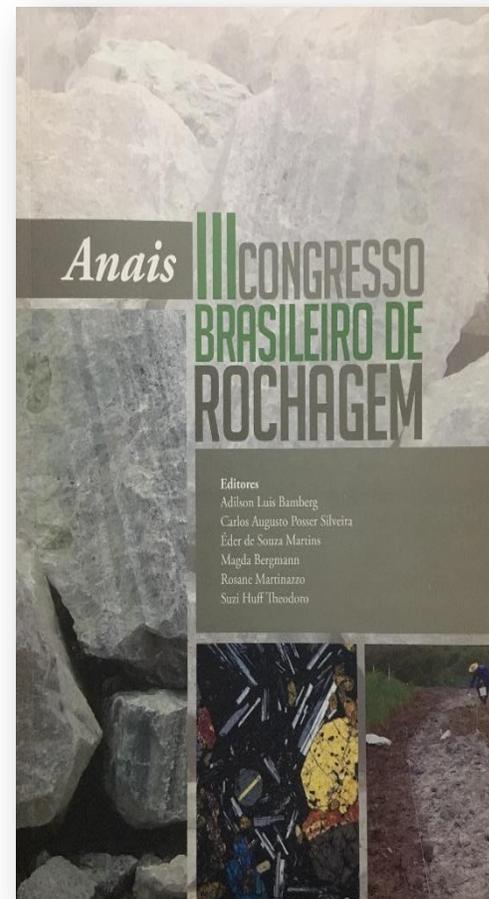
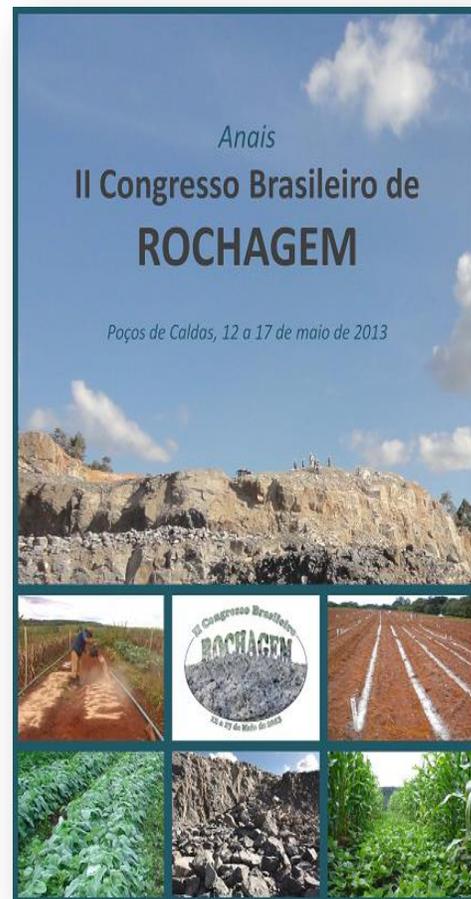
**SOLO**  
Recurso geológico



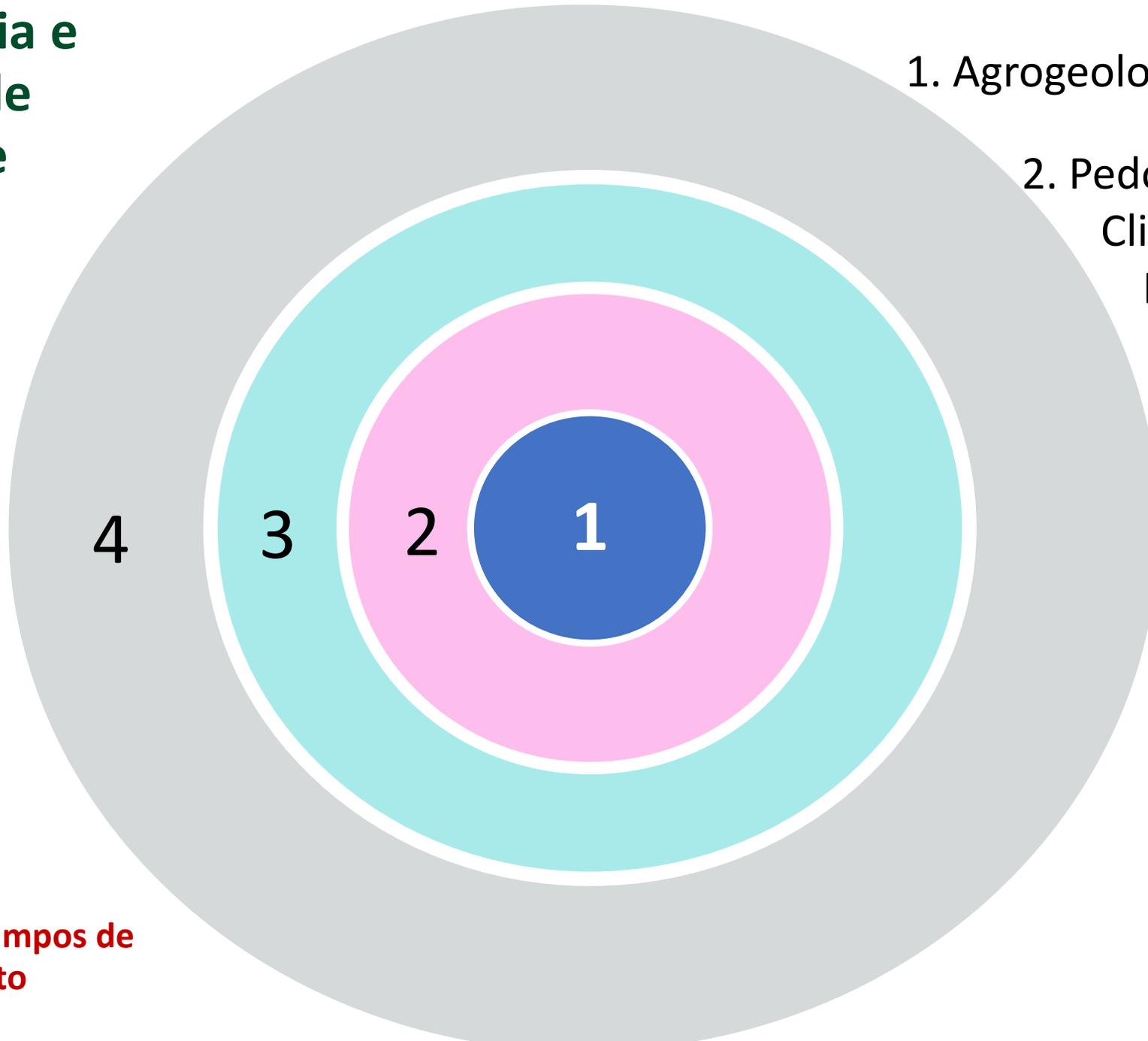
**ROCHA**  
Recurso agrônômico



# Agrogeologia no Brasil



# Agrogeologia e ciências de interface



1. Agrogeologia

2. Pedologia

Climatologia

Hidrologia

Ecologia

3. Agronomia

4. Segurança

Alimentar

Saúde humana

Biodiversidade

Segurança hídrica

Mudança climática

Uso da Terra

4

3

2

1

**Contribuição dos campos de  
conhecimento**

# Definições

## Agromineral

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



# Tipos de agrominerais

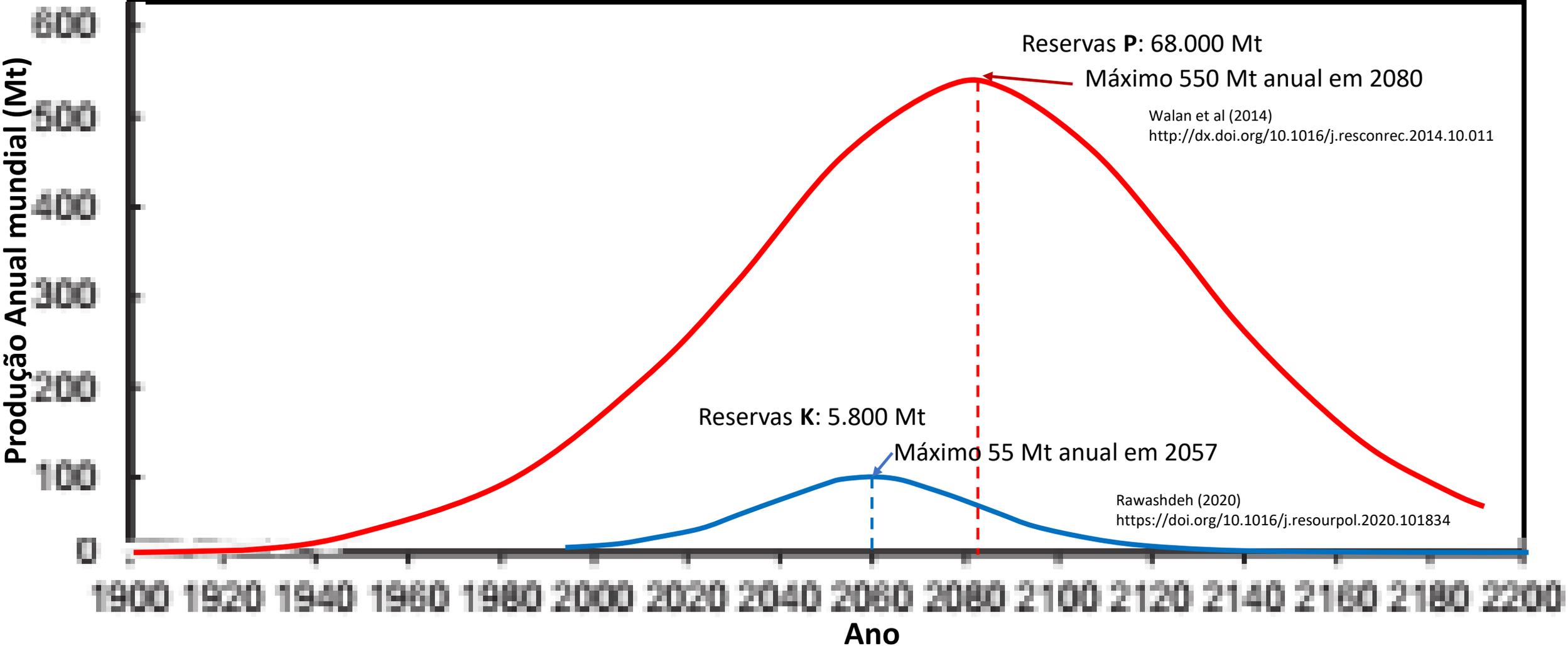
Classe de ânion		Tipo de rochas*	Cations principais	Cobertura da crosta (% área) <sup>11</sup>	Solubilidade em água
<b>Cloreto</b>	Cl <sup>-1</sup>	Depósitos evaporíticos (sedimentar)	K <sup>+</sup>	0,0	Muito alta
<b>Sulfato</b>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Depósitos evaporíticos (sedimentar) <sup>1</sup>	Ca <sup>2+</sup> (Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> )	0,0	Muito alta
<b>Carbonato</b>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Calcário (sedimentar) <sup>2</sup> Carbonatito (ígneo) <sup>3</sup> Mármore (metamórfico) <sup>4</sup>	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	15	Baixa
<b>Fosfato</b>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fosforito (sedimentar) <sup>5</sup> Foscorito (ígneo) <sup>6</sup>	Ca <sup>2+</sup>	0,0	Baixa
<b>Borato</b>	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	Boratos (sedimentar) <sup>7</sup>	Ca <sup>2+</sup>	0,0	Baixa-Alta
<b>Silicato</b>	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	Sedimentar <sup>8</sup> Ígneo <sup>9</sup> Metamórfico <sup>10</sup>	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup>	85	Muito baixa

\*Exemplos de pesquisa com agrominerais *in natura*: <sup>1</sup>Freire et al. (2014); <sup>2</sup>Sousa et al. (1989); <sup>3</sup>Andrade et al. (2002); <sup>4</sup>Raymundo et al. (2013); <sup>5</sup>Chaves et al. (2013);

<sup>6</sup>Resende et al. (2006); <sup>7</sup>Sá e Ernani (2016); <sup>8</sup>Lopes (1971); <sup>9</sup>Mancuso et al. (2014); <sup>10</sup>Duarte et al. (2012);

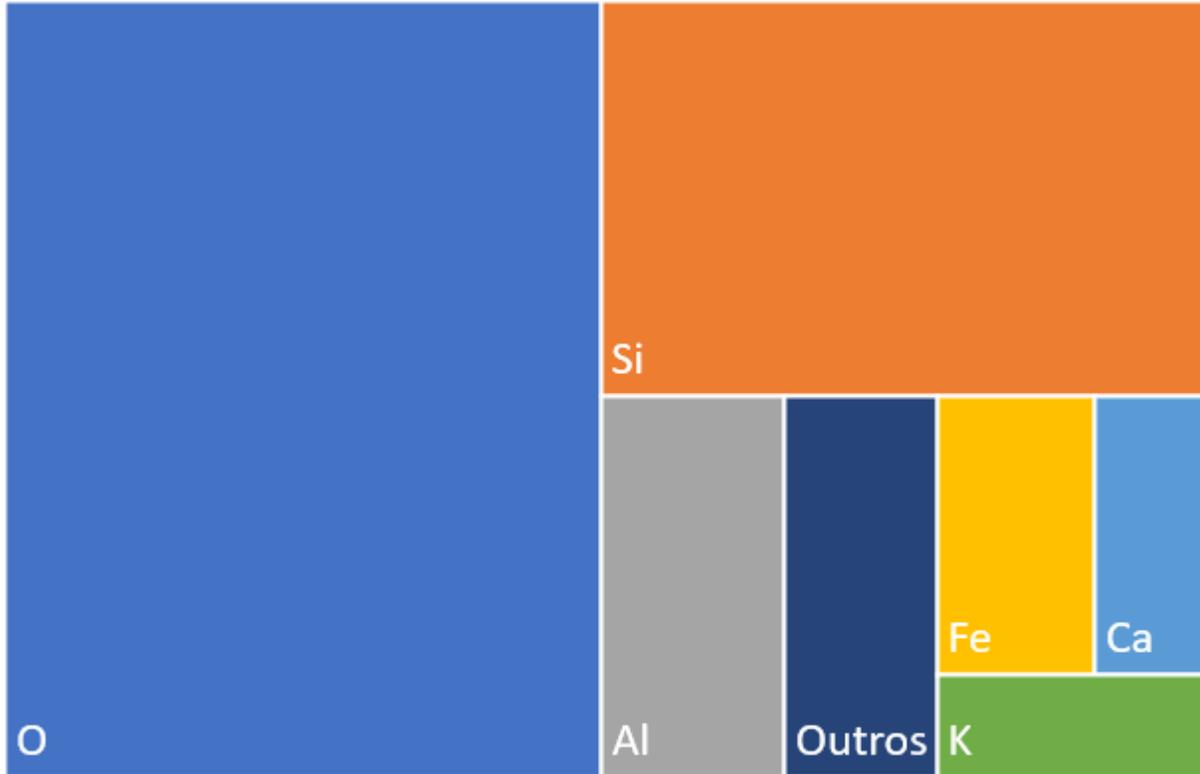
<sup>11</sup>Goldscheider et al. (2020), DOI:10.1007/s10040-020-02139-5

# Limitações das commodities fertilizantes para a segunda metade do século XXI



# Minerais potássicos

## Composição da Crosta Terrestre



## Minerais potássicos



Sais de K  
<0,01%



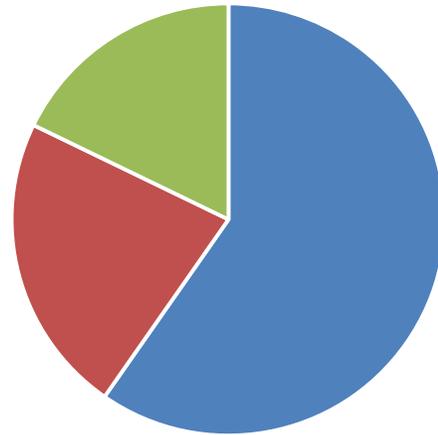
# Minerais portadores de K

MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA	%Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	%Cl
Silvinita	KCl	0	60	48
Kalsilita	KAlSiO <sub>4</sub>	0	25-30	0
Leucita	KAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0	20-21	0
Nefelina	(Na,K)AlSiO <sub>4</sub>	10-15	8-10	0
Glauconita	(K,Na)(Fe,Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	0-1	10-15	0
Biotita	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> )Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH)	0	7-10	0
Flogopita	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH)F <sub>2</sub>	0	7-11	0
Feldspato-K	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0	8-15	0
Muscovita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	0	7-11	0
Illita	(K,H <sub>3</sub> O)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> [(OH) <sub>2</sub> ,(H <sub>2</sub> O)]	0	4-8	0



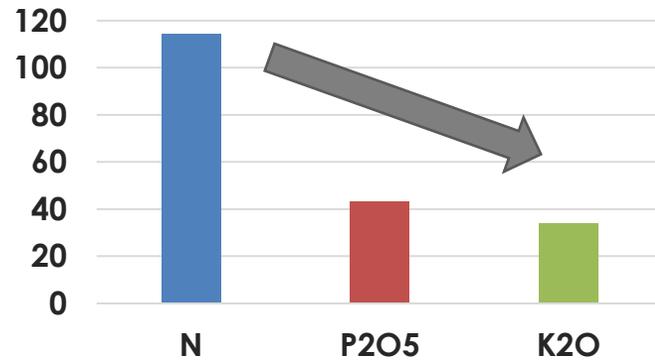
# Commodities fertilizantes (NPK)

2017 (Mundo)



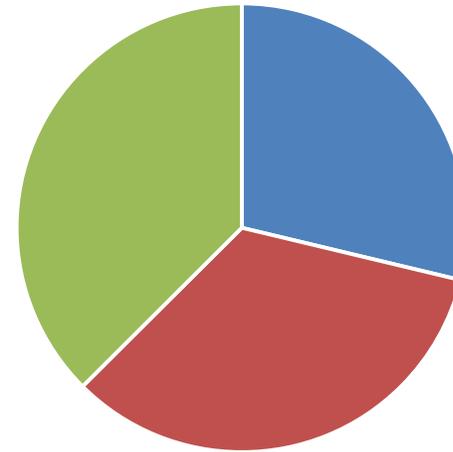
■ N ■ P2O5 ■ K2O

2017 – Mundo (10<sup>6</sup> ton)



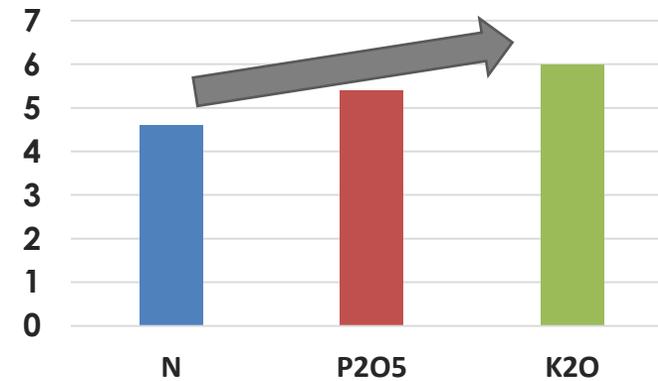
Fonte: <http://www.fao.org/3/a-i6895e.pdf>

2017 (Brasil)



■ N ■ P2O5 ■ K2O

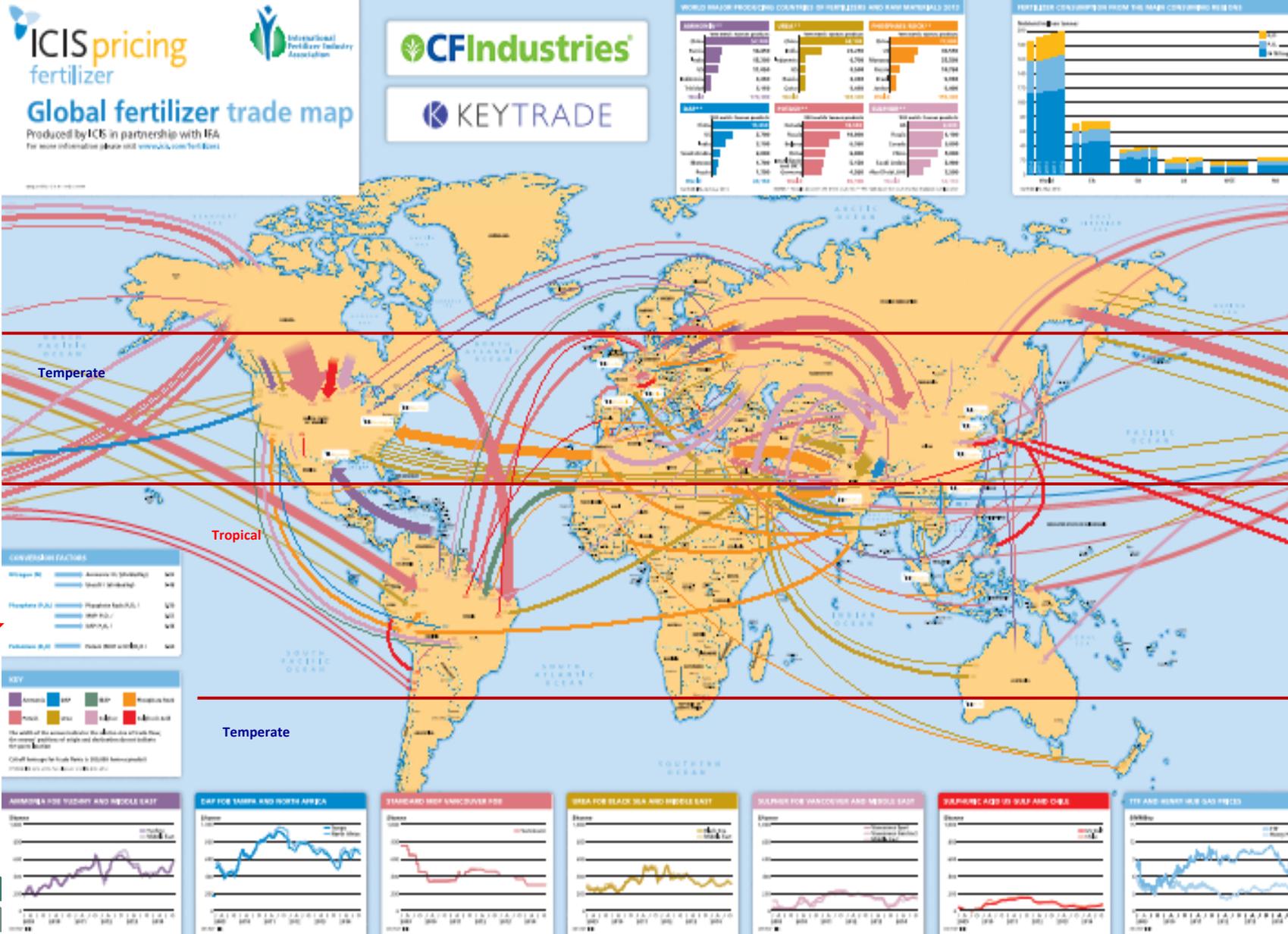
2017 – Brasil (10<sup>6</sup> ton)



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

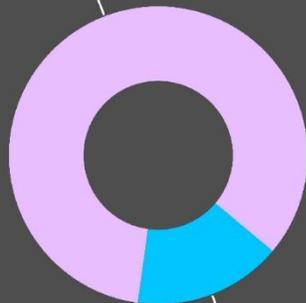


# Commodities fertilizantes



# Consumo de Nutrientes no Brasil 2017

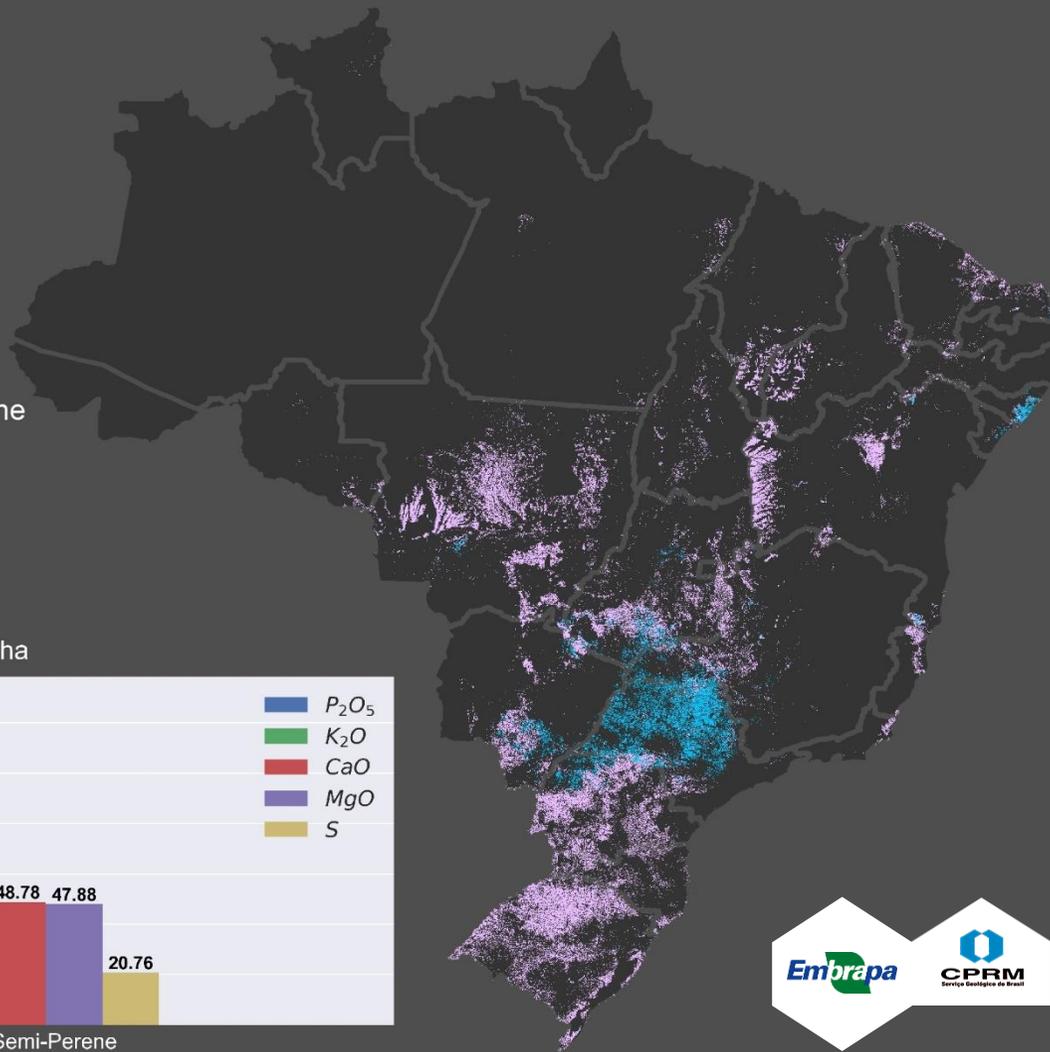
83.92%



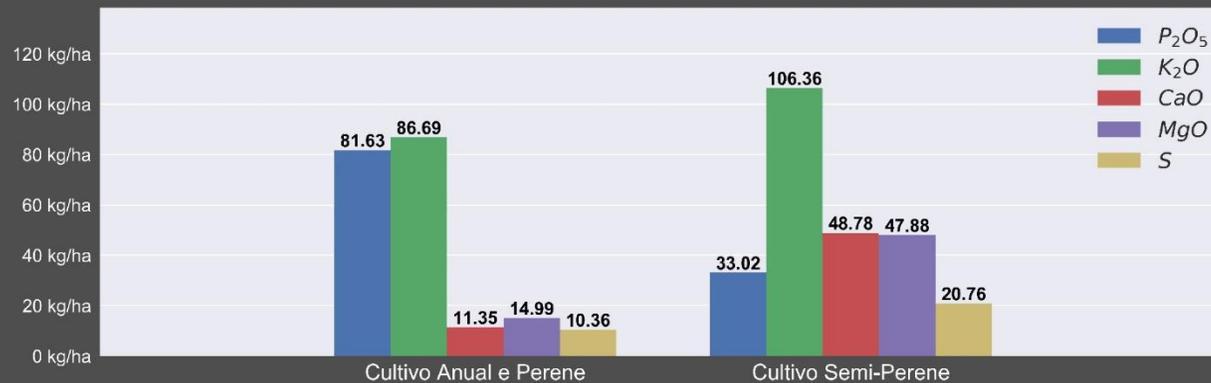
16.08%

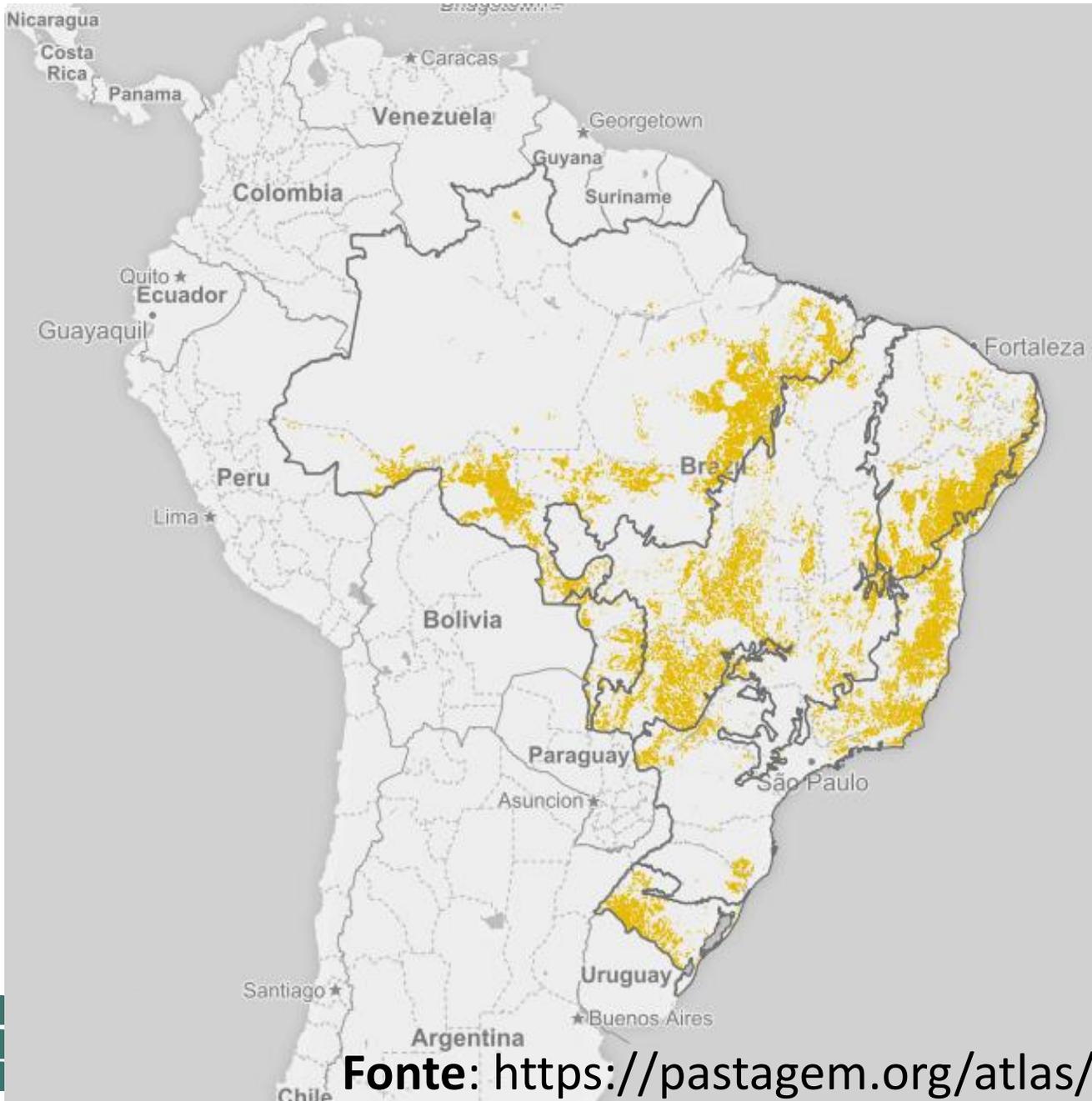
## Classes - Mapbiomas

- Cultivo Anual e Perene
- Cultivo Semi-Perene

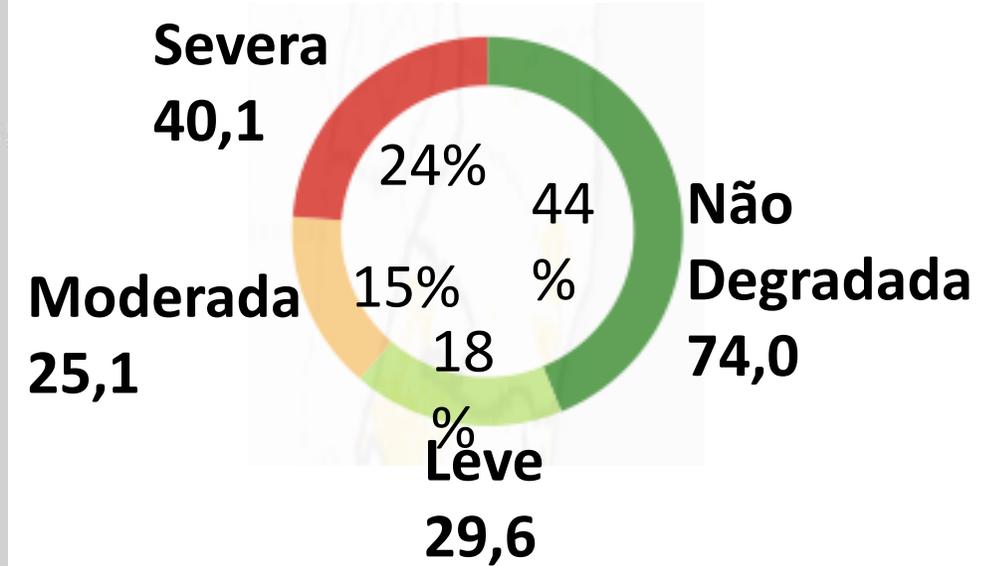


## Consumo de Nutrientes em Kg/ha



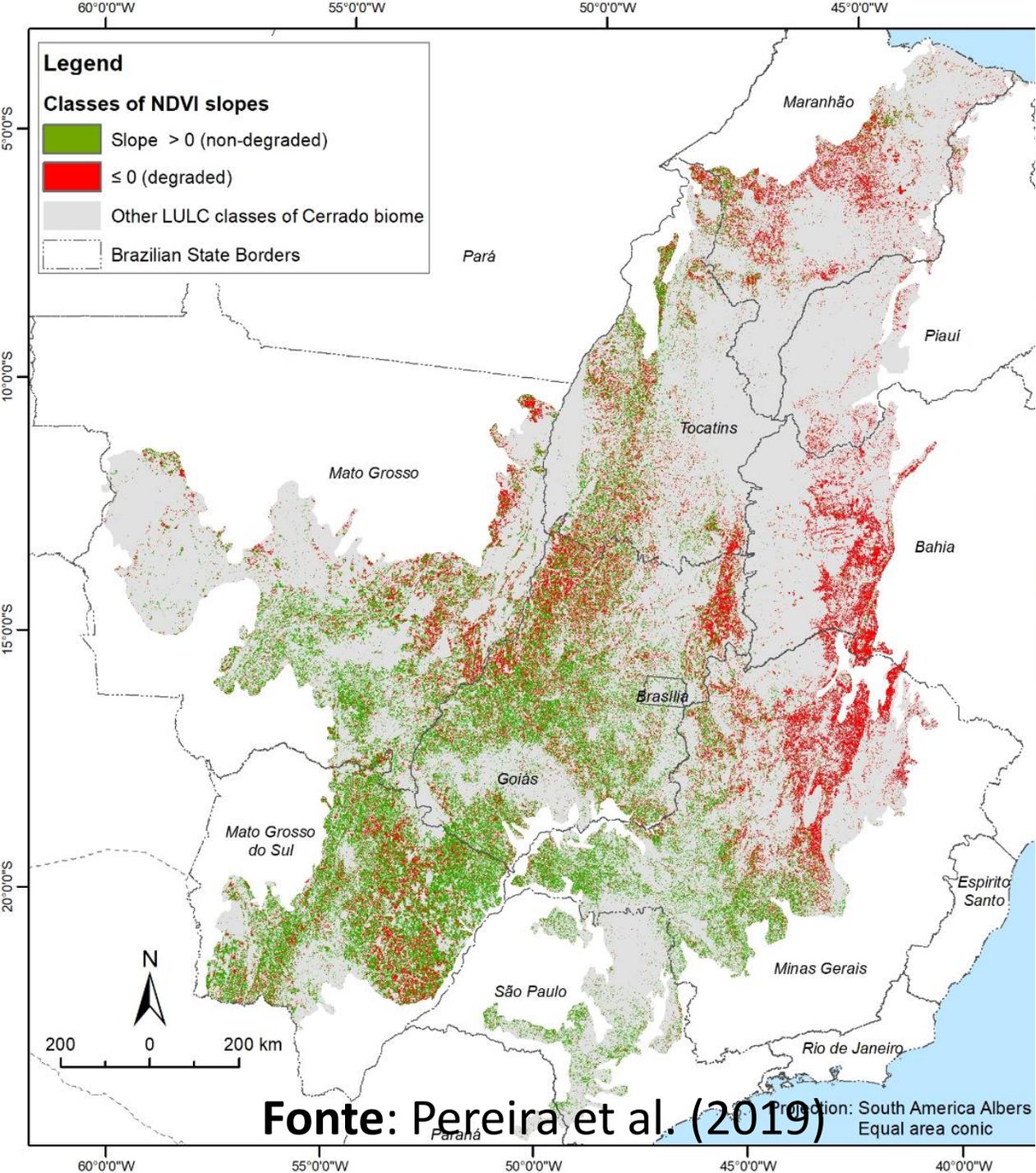


**Total 168,8 milhões hectares**

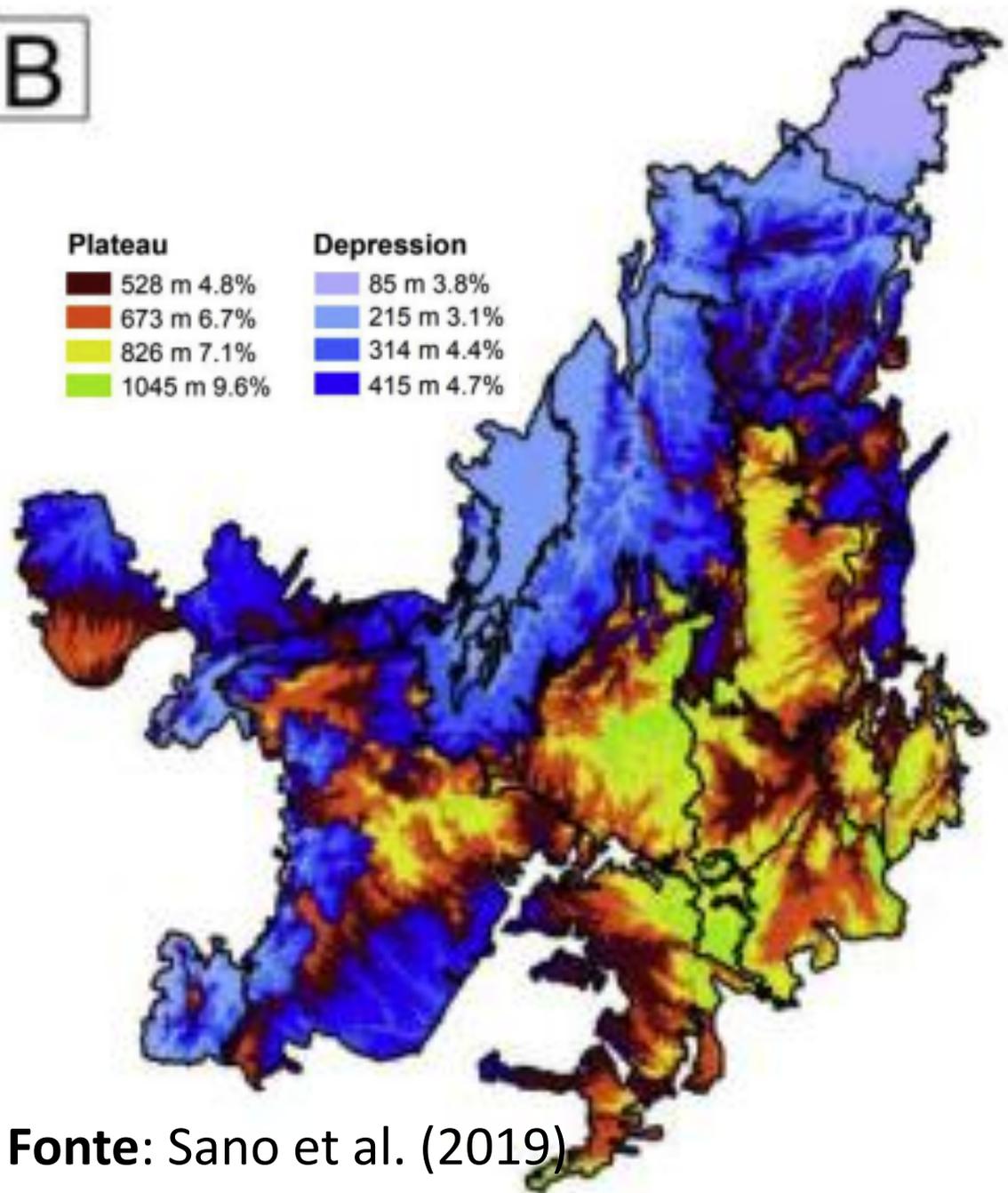


Fonte: <https://pastagem.org/atlas/map>





**B**



# Pós de rochas para a agricultura

## Calcários

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

## Fosfato natural reativo

- Fósforo e cálcio

## Gesso natural (gipsita)

- Corretivo de alumínio tóxico
- Enxofre e cálcio

## Agrominerais silicáticos

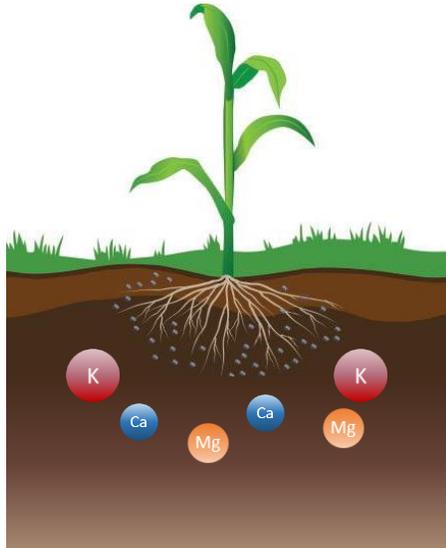
- Superfície específica e CTC, corrige o Al tóxico reação com o Si
- Multinutriente



# Agrominerais silicáticos

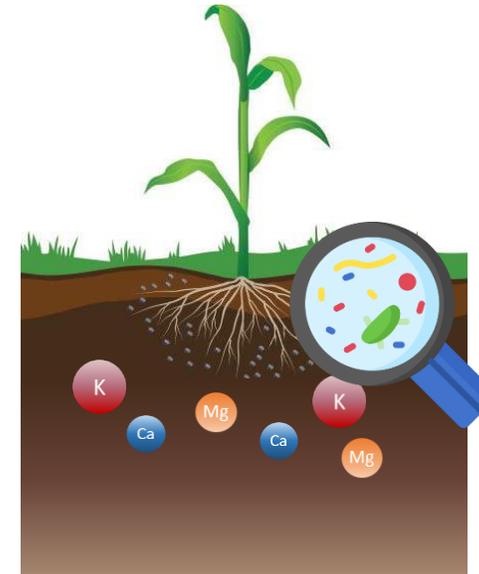
Materiais derivados de rochas silicáticas para produzir fertilizantes ou remineralizadores do solo para a produção agrícola  
(Martins et al., 2014)

## Fertilizantes naturais ou industriais



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

## 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**

Krahl (2020) <https://repositorio.unb.br/handle/10482/38678>



# Definições

## REMINEALIZADOR DE SOLO

Lei 12.890/2013

Todo material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos 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 ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.



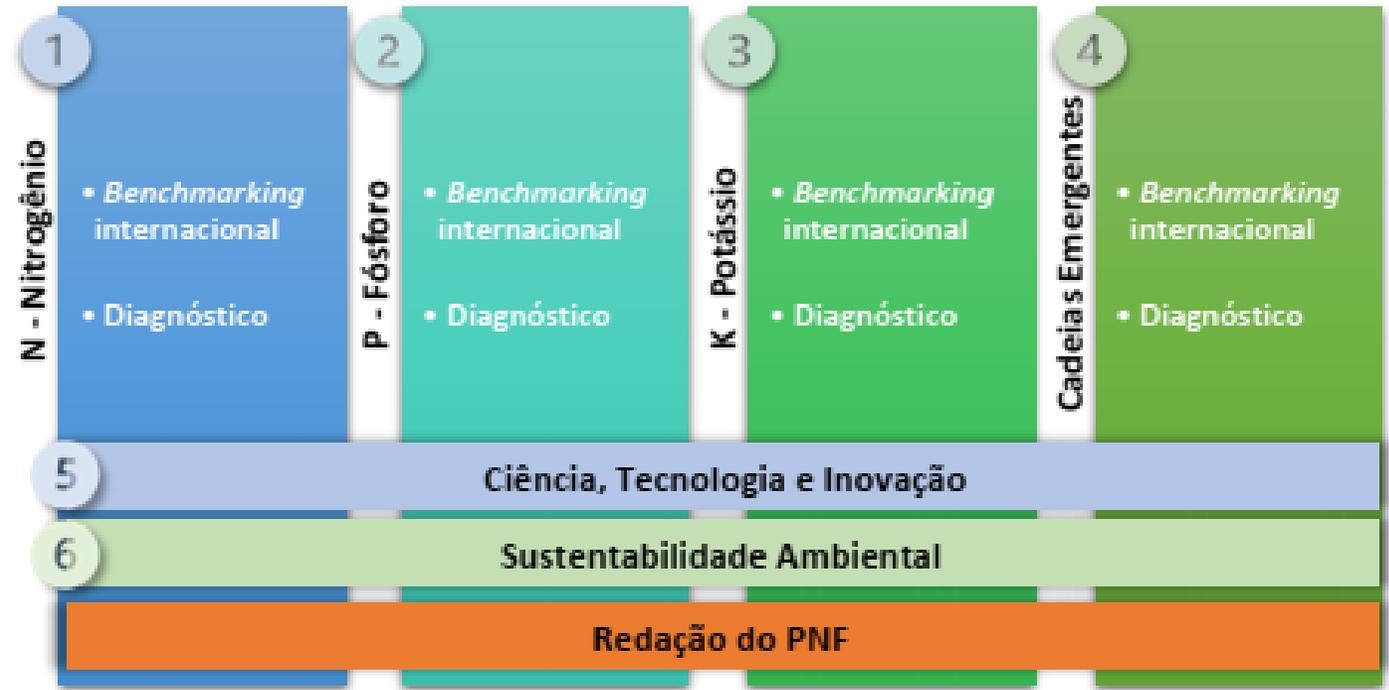
# Regulamentação

## Lei Nº 12.890/2013 e IN 5/2016 MAPA

- **Lei e normas que regulamentam os remineralizadores adotam:**
  - Soma das bases totais na forma de óxidos ( $K_2O + CaO + MgO$ ) – mínimo de 9%
  - $K_2O$  – mínimo de 1%
  - Limites máximos (ppm) de ( $As < 15$ ;  $Cd < 10$ ;  $Hg < 0,1$ ;  $Pb < 200$ )
  - Sílica livre (quartzo) < 25%
  - Comprovação de eficiência agronômica
  - Granulometria farelado, pó ou filler
  
- **Em desenvolvimento normas para pesquisa e quantificação de minério na ANM**



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

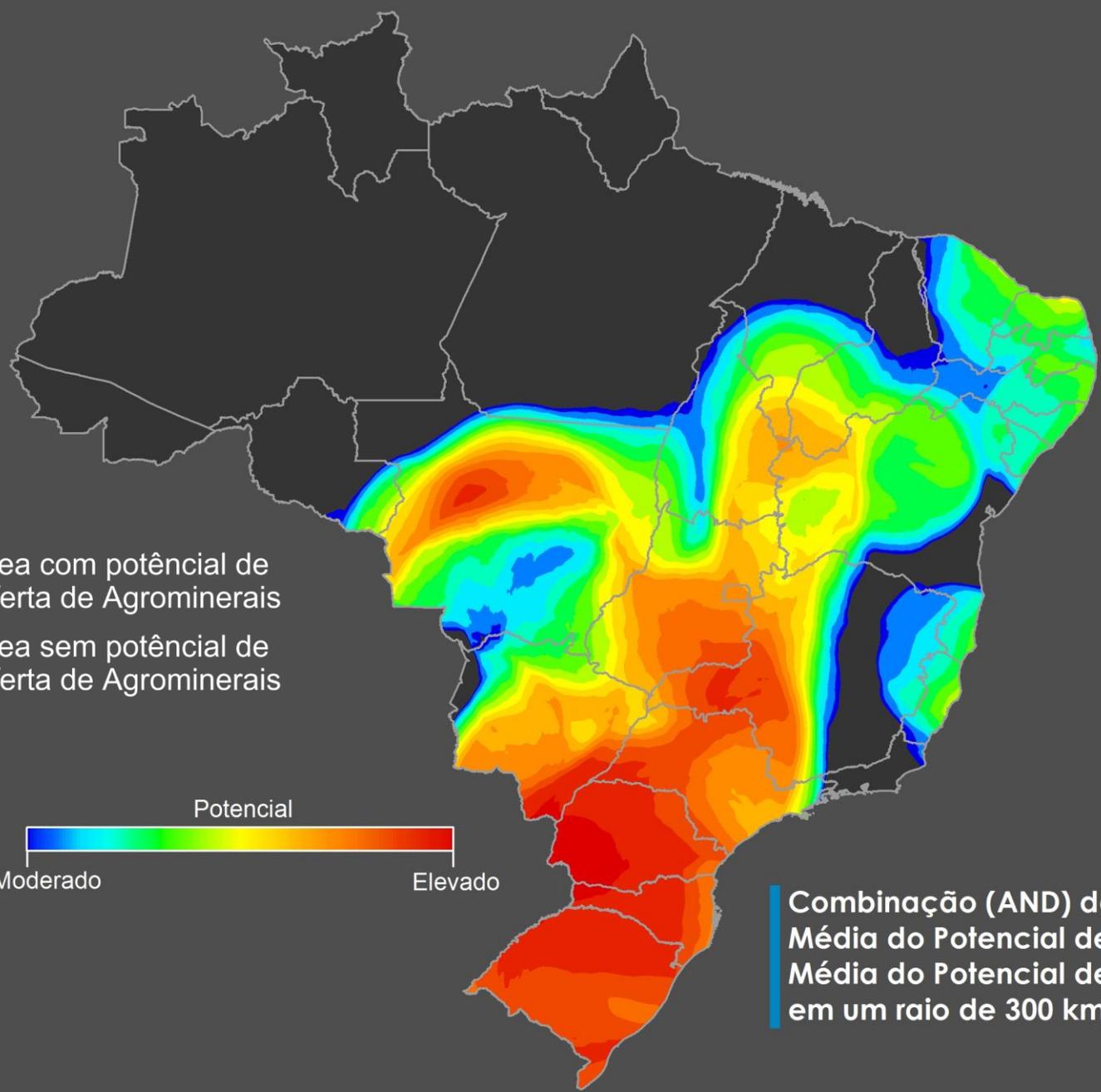
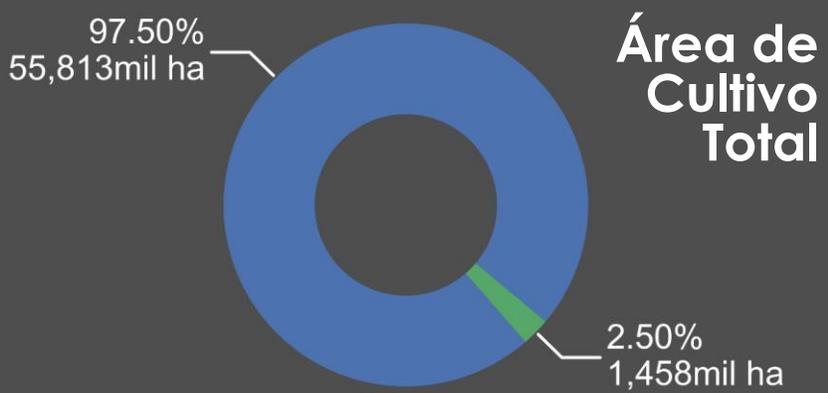
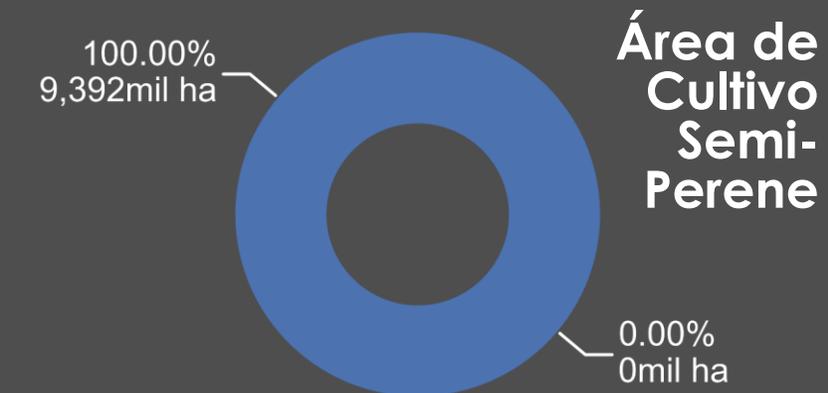
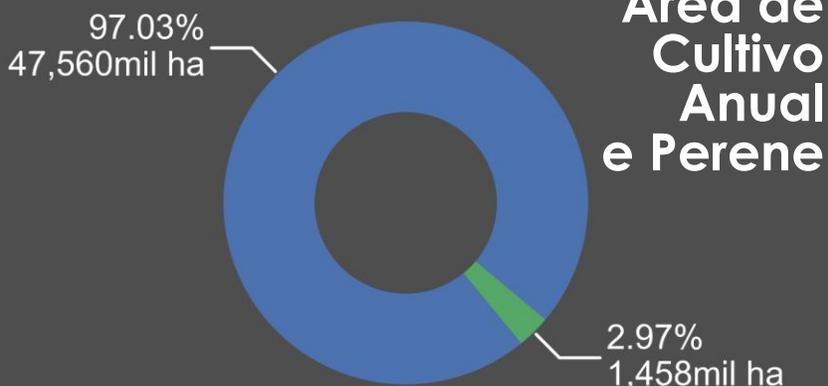


“...o País precisa investir em um Programa de Desenvolvimento de Remineralizadores, que envolve a pesquisa mineral, a pesquisa agrônômica e o financiamento de processos de beneficiamento. As instituições de pesquisa agropecuária e mineral, capitaneadas pela Embrapa e SGB/CPRM, devem liderar os estudos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

SECRETARIA ESPECIAL DE  
ASSUNTOS ESTRATÉGICOS



# Potencial Econômico para Agrominerais Silicáticos



Combinação (AND) da Média do Potencial de Oferta e Média do Potencial de Consumo em um raio de 300 km

# Potenciais co-produtos de mineração de pequeno porte

## SUBSTÂNCIA

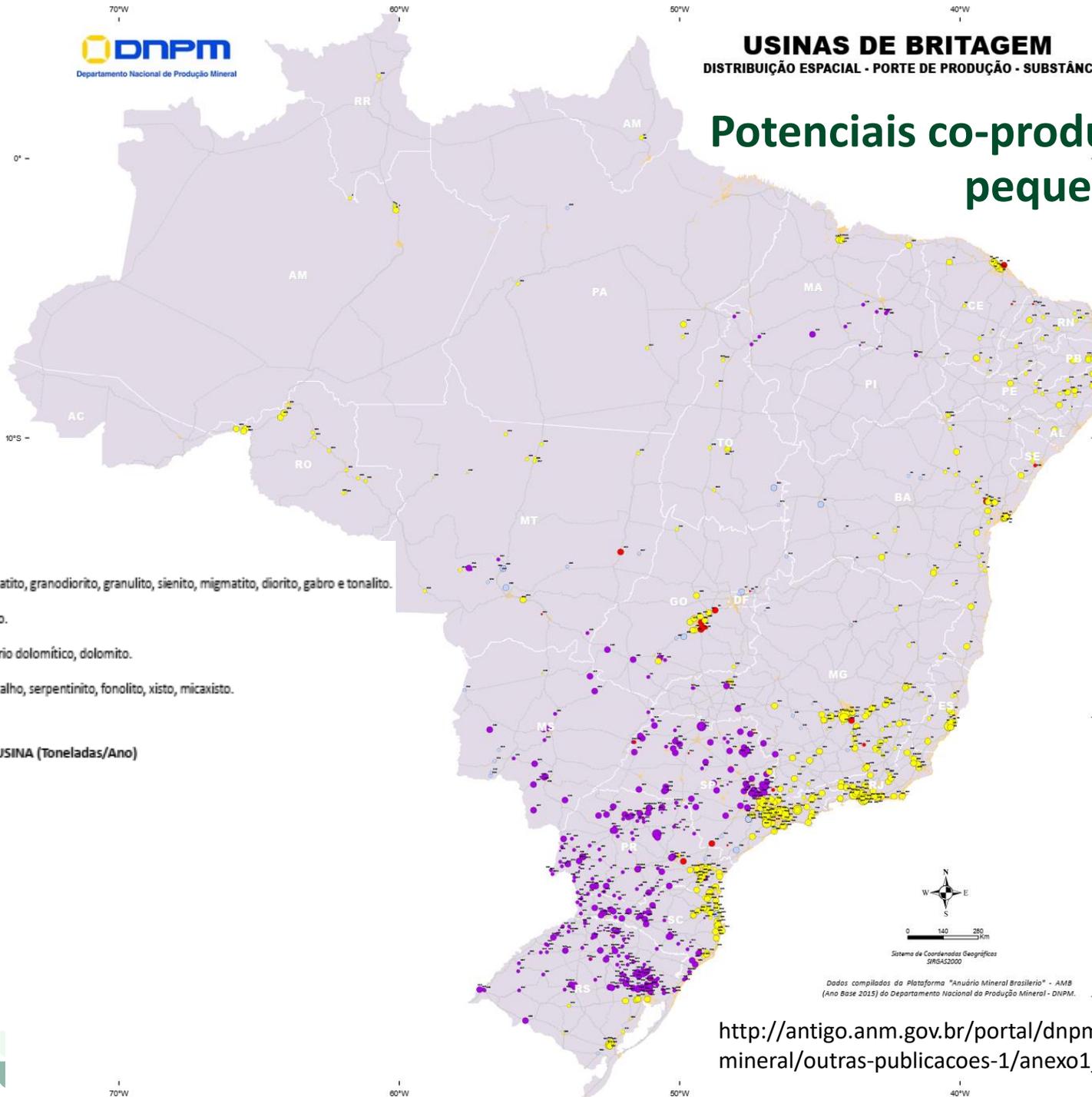
- Granito, gnaiss, migmatito, granodiorito, granulito, sienito, migmatito, diorito, gabro e tonalito.
- Basalto, riolito, diabásio.
- Calcário calcítico, calcário dolomítico, dolomito.
- Arenito, quartzito, cascalho, serpentinito, fonolito, xisto, micaxisto.

## PORTE DE PRODUÇÃO DA USINA (Toneladas/Ano)

- < 10.000
- 10.000 - 100.000
- 100.000 - 1.000.000
- > 1.000.000

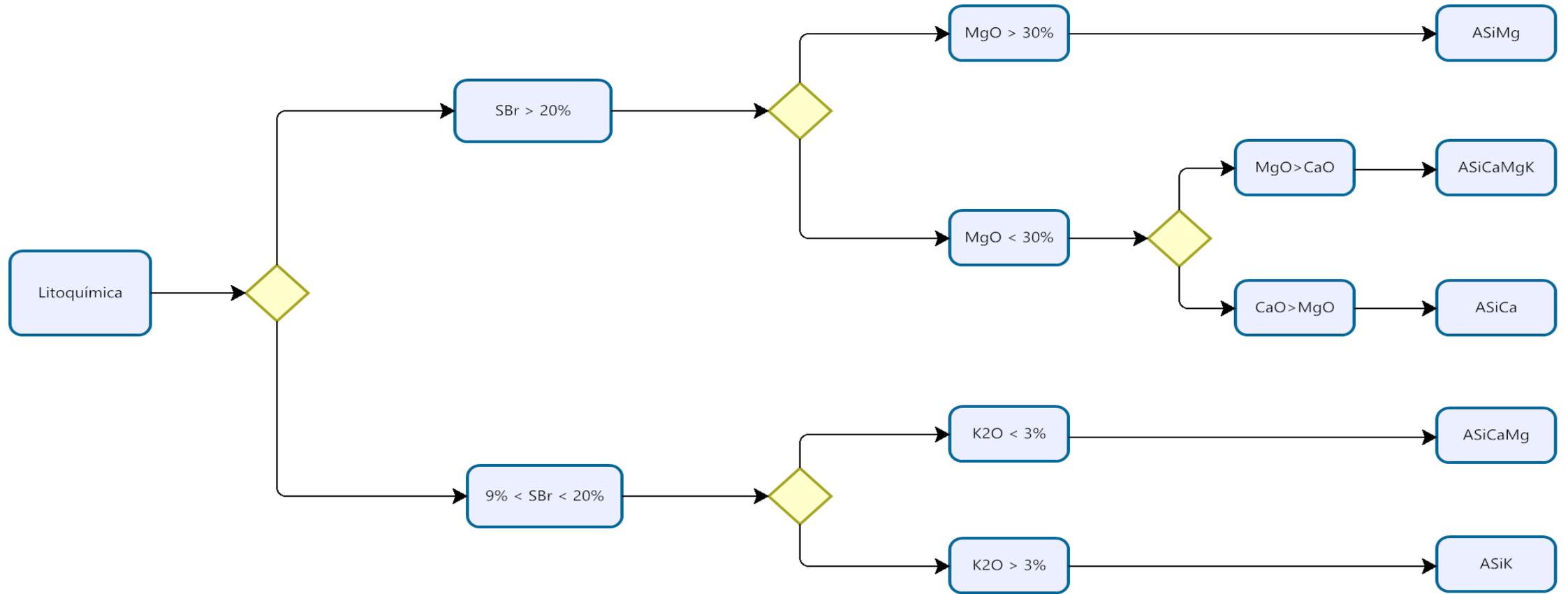
## CONVENÇÕES

- Rodovias
- Área Urbana
- ① Número da Usina

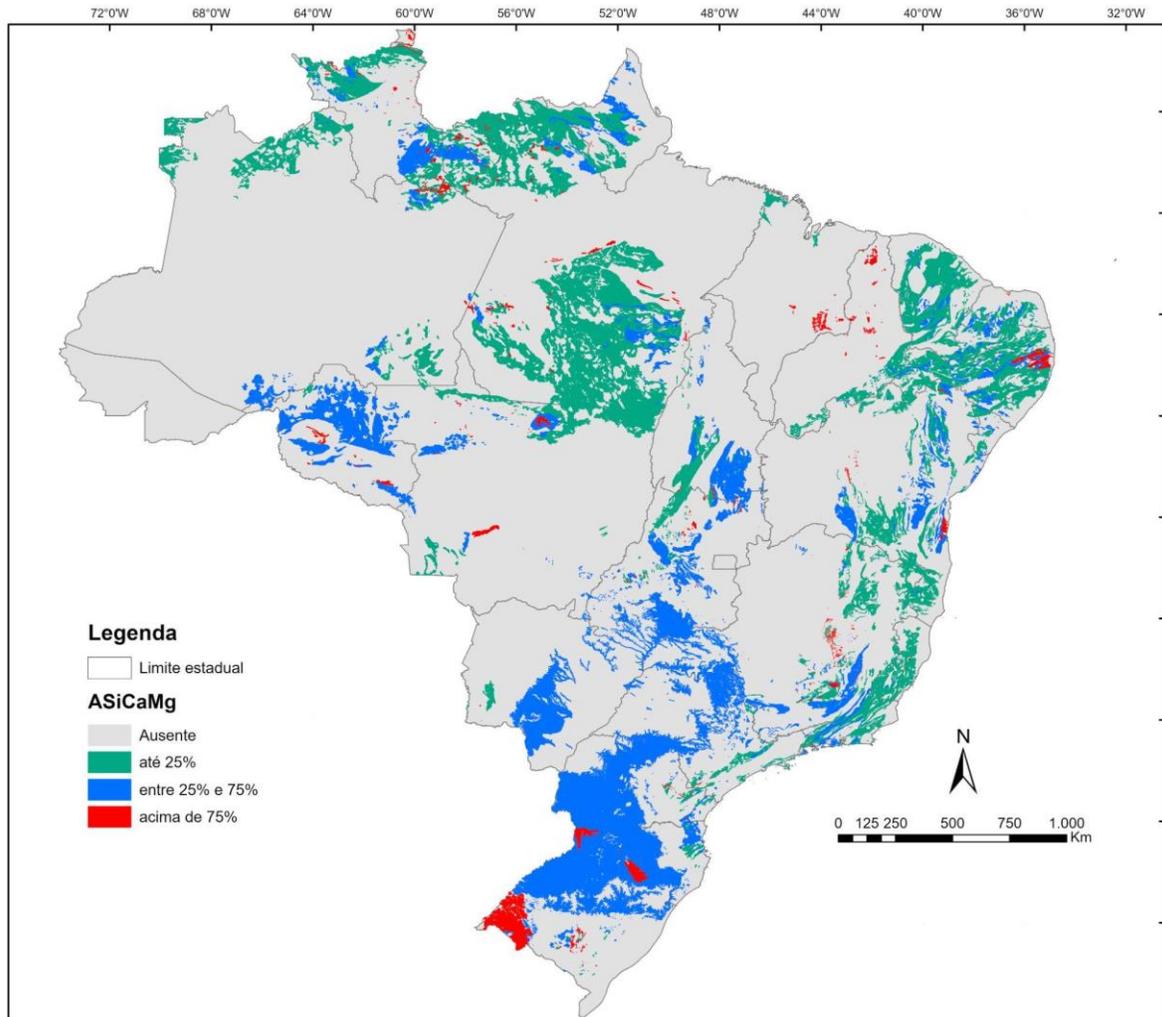


Dados compilados da Plataforma "Anuário Mineral Brasileiro" - AMB  
(Ano Base 2015) do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

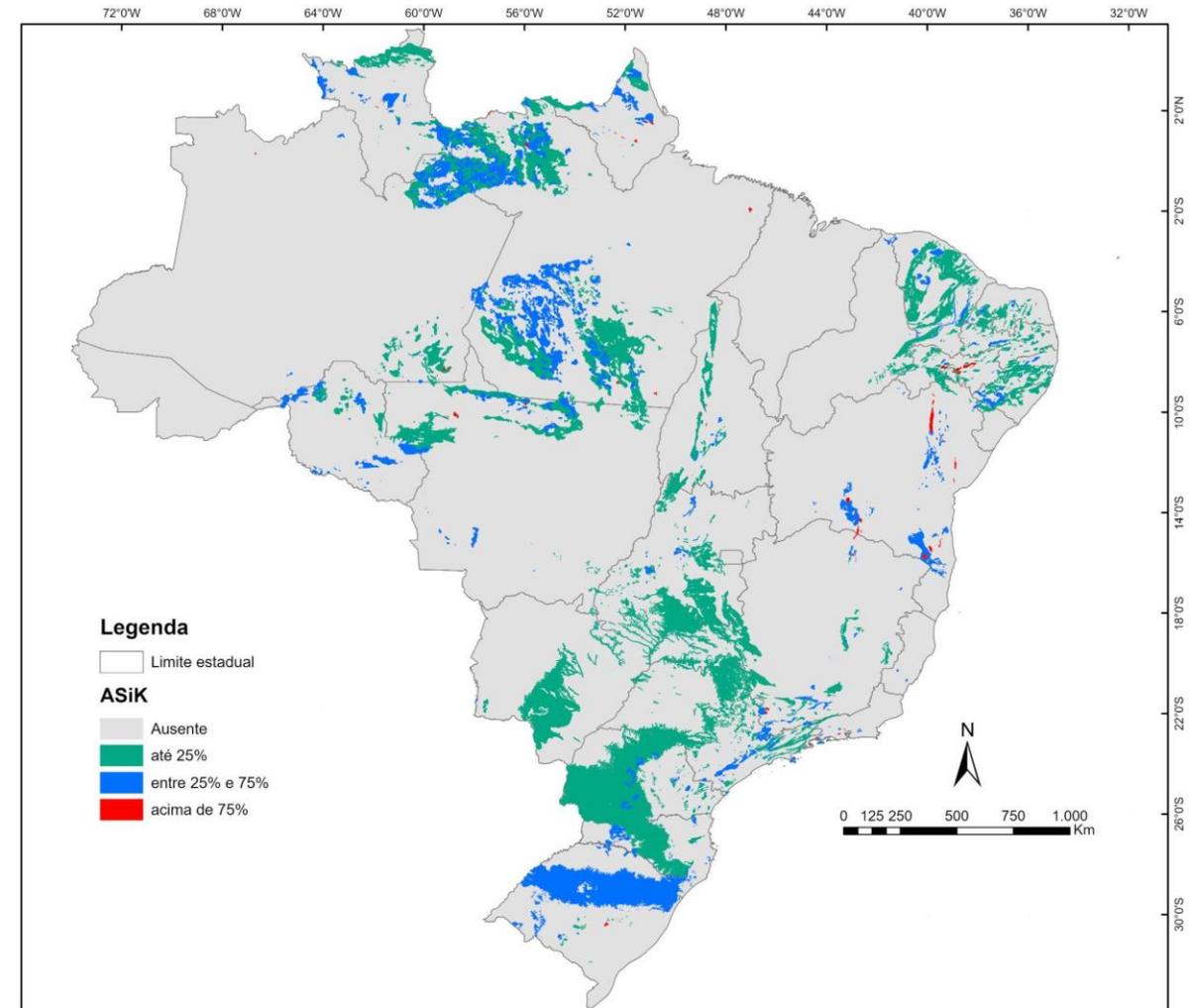
Classificação de Agrominerais Silicáticos



# ASiCaMg 154 Mha (59,8%)



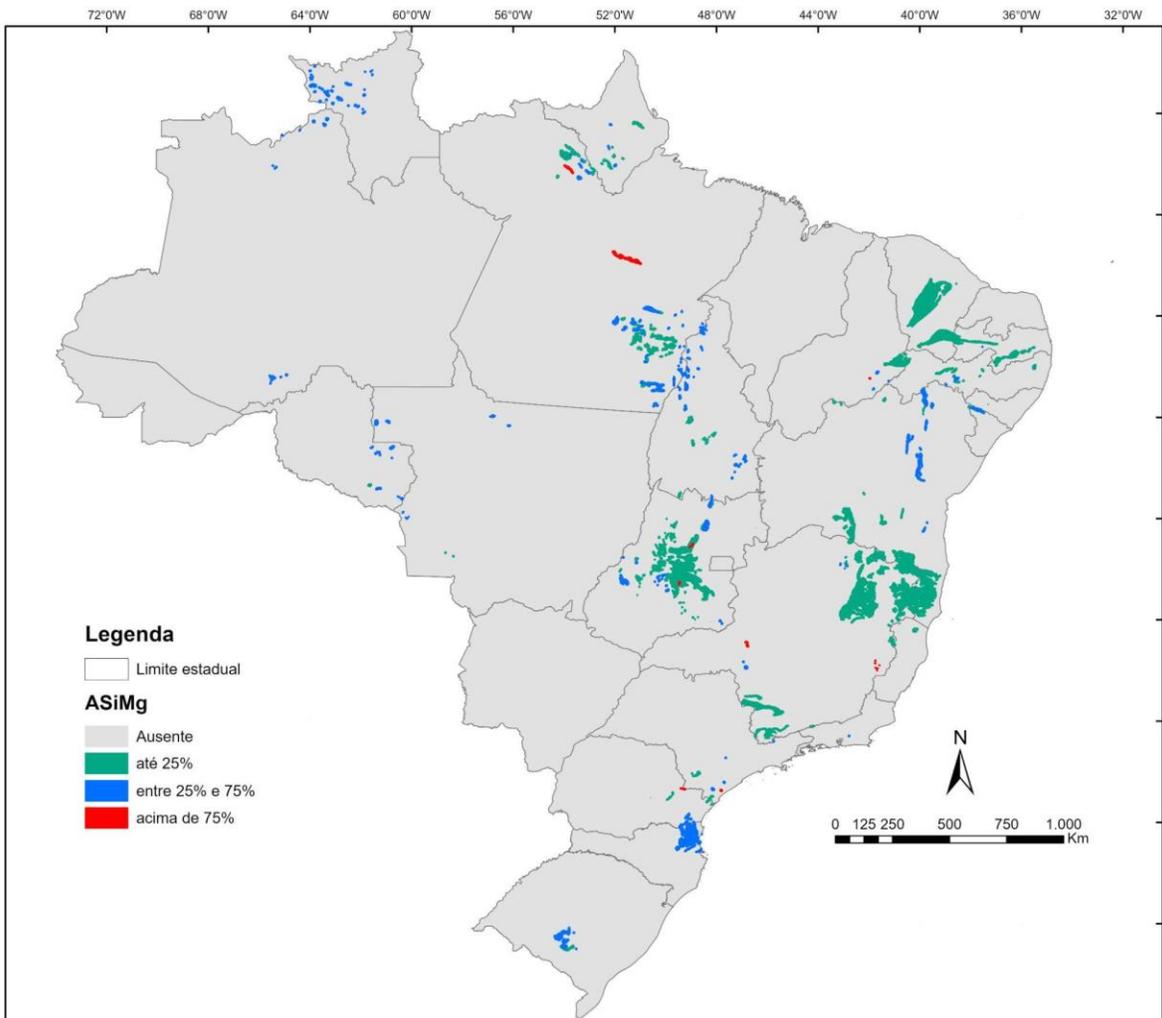
# ASiK 92 Mha (35,8%)



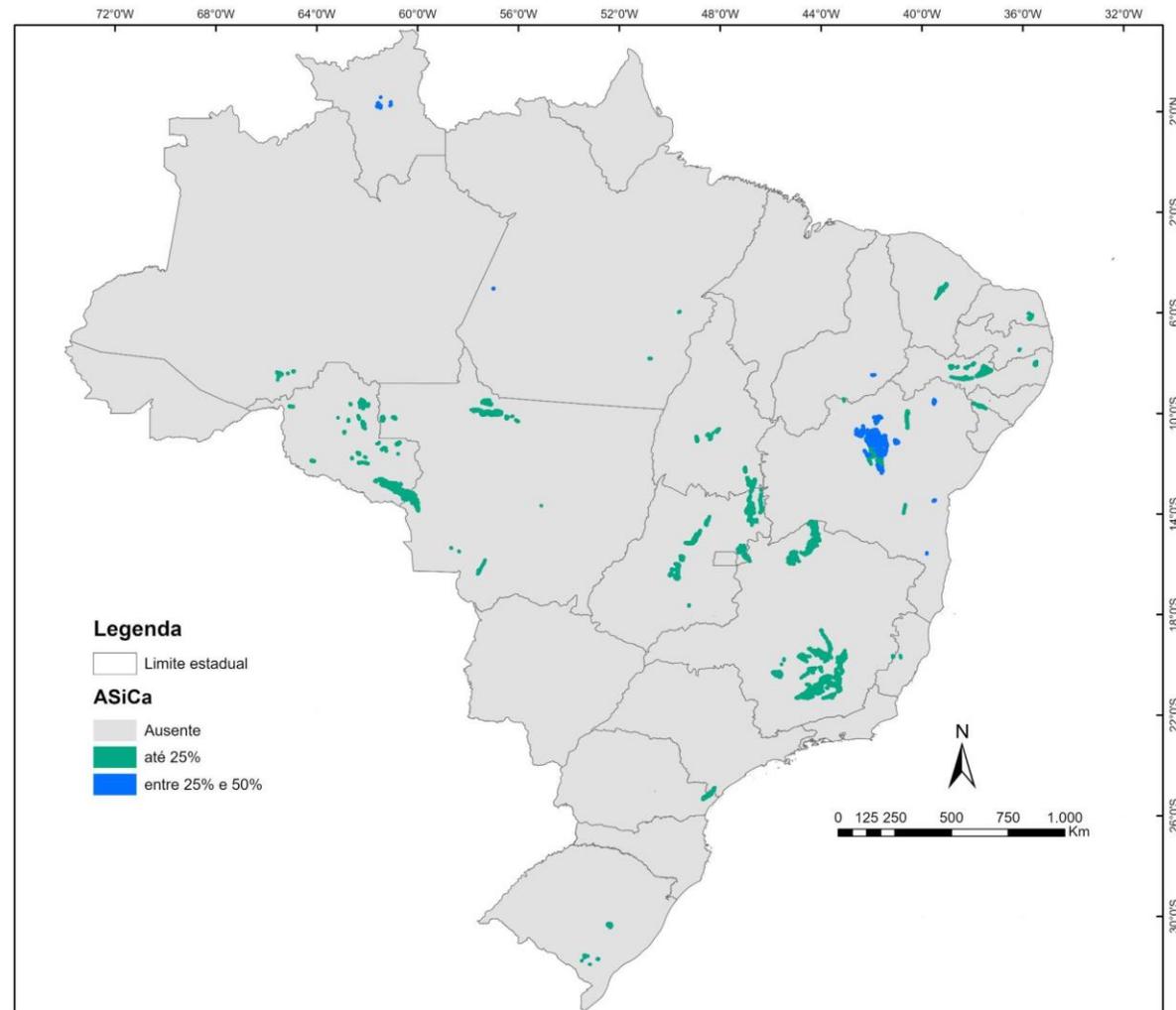
Magalhães et al. (2024) no prelo



# ASiMg 8,3 Mha (3,2%)



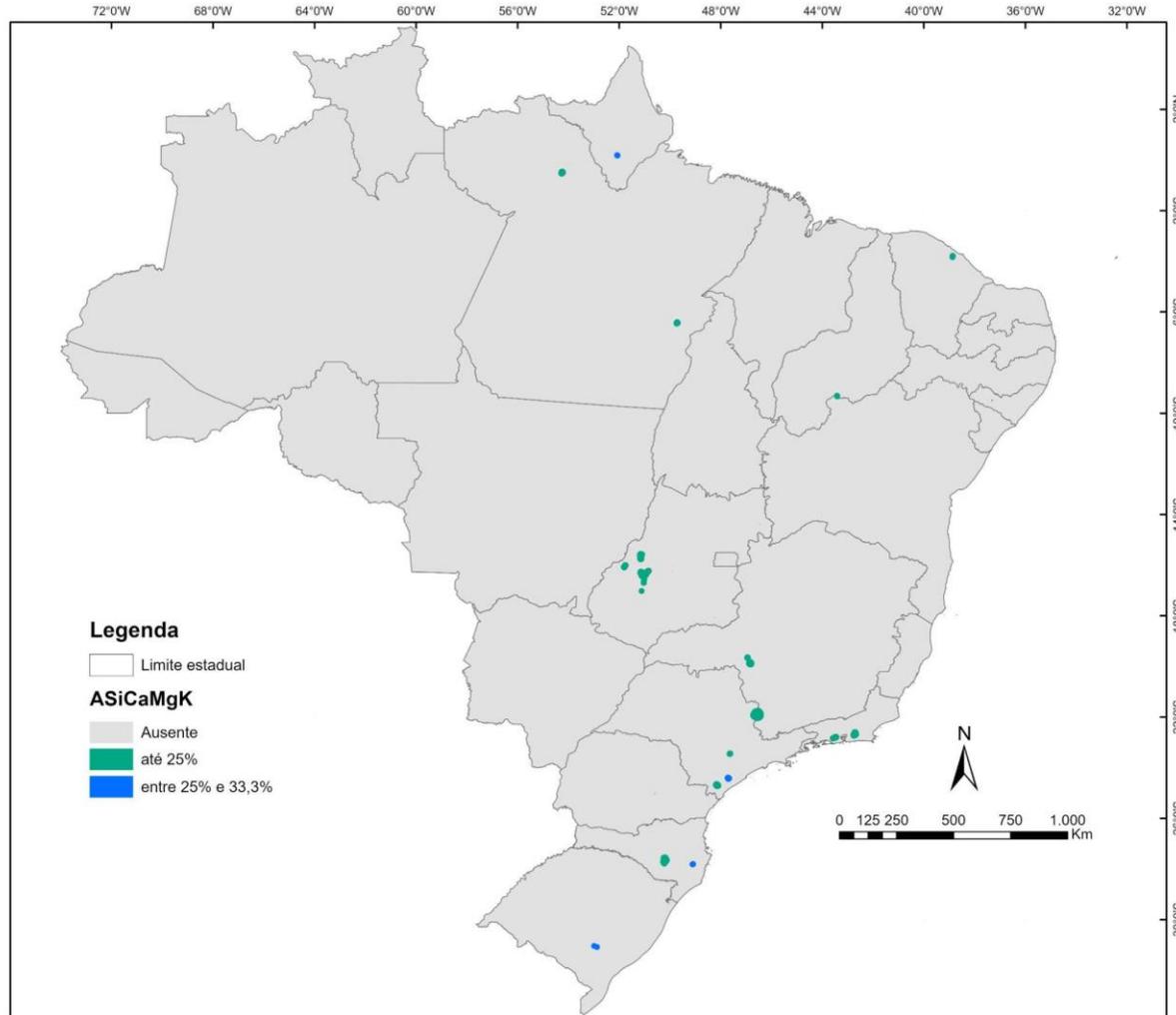
# ASiCa 3 Mha (1,2%)



Magalhães et al. (2024) no prelo



# ASiCaMgK 0,2 Mha (0,1%)



Magalhães et al. (2024) no prelo



# Processo Agrogeológico

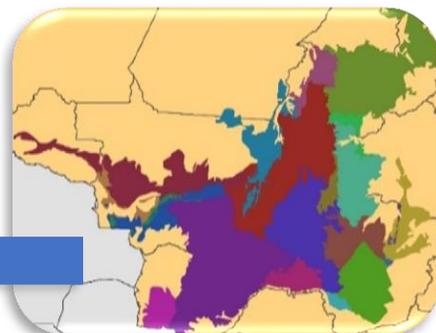
1. **Agrogeologia:** Estudo dos solos agrícolas e das fontes de nutrientes, remineralizadores e condicionadores de solo regionais;
2. **Seleção de agrominerais:** Função da disponibilidade, composição química, mineralógica, e eficiência agronômica;
3. **Produção de agrominerais:** Definição da tecnologia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



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...

**Muito Grato!**

