**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO**

# Disciplina LSO 300 – Química e Fertilidade do Solo

# APOSTILA - AULAS PRÁTICAS

**Docentes:**

**Prof. Luís Reynaldo F. Alleoni (coordenador)**

**Prof. Carlos Eduardo P. Cerri**

**Profa. Jussara Borges Regitano**

2017

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO**

Docentes

**Prof. Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni**

Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP) em 1985, Mestre (1992) e Doutor (1996) em Solos e Nutrição de Plantas e Livre-Docente em Química do Solo (2000) pela ESALQ/USP, com Pós-Doutorado pela Universidade da Florida - EUA (2005/2006). É Professor Titular no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ e tem experiência em alterações químicas do solo em função do manejo e comportamento de elementos potencialmente tóxicos no ambiente. Atua também na área de Redação Científica.

**Prof. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri**

Engenheiro Agrônomo pela ESALQ/USP (1997), Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ (1999), Doutor em Ciência Ambiental pelo CENA/USP (2003) e Livre-Docente em Manejo da Matéria Orgânica do (2010) pela ESALQ/USP. É Professor Associado no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ e tem experiência em temas relacionados à Matéria Orgânica do Solo, Aquecimento global e mudanças climáticas, agricultura e mercado de créditos de carbono, modelagem matemática, geoestatística e geoprocessamento.

**Profa. Jussara Borges Regitano**

Engenheira Agrônoma pela ESALQ (1984), Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras (1987); Doutora em Agronomia/Ciência do Solo pela Universidade de Purdue - EUA (1994), com Pós-Doutorado em Comportamento de Pesticidas no Ambiente pela Universidade de Minessota - EUA (2003). É Professora Doutora no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ e tem experiência na área de comportamento ambiental de pesticidas, fármacos e poluentes orgânicos no solo.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO**

# ÍNDICE

Sistema Internacional de Unidades .....1
Amostragem de terra para fins de fertilidade (sala de aula + instrumentos)..... 9
Amostragem de terra para fins de fertilidade (campo).....15
Análise química de terra: Extratores .....20
Métodos de análise de terra em laboratório – pH .....26
Exercício prático sobre pH.....30
Exercício prático sobre matéria orgânica.....35
Métodos de análise de terra em laboratório – acidez potencial .....41
Conferência de resultados .....47
Produção relativa e classes de teores.....52
Exercício prático em sala de aula .....56
Exercício prático em sala de aula .....60
Questões .....62
Respostas .....66
Bibliografia .....71

**UTILIZAÇÃO DO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES EM QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO**

**1. Unidades do sistema internacional**

**Divididas em duas categorias:**

**Unidades de base e Unidades derivadas**

**a) Unidades de base**

- São dimensionalmente independentes
- Símbolos → expressos em letras minúsculas (exceto derivados de nomes próprios)

**UNIDADES DO SI**

| Grandeza | Unidade | Símbolo |
|---|---|---|
| Comprimento | metro | m |
| Massa | quilograma | kg |
| Tempo | segundo | s |
| Corrente elétrica | ampére | A |
| Temperatura termodinâmica | kelvin | K |
| Quantidade de matéria | mol | mol |

**b) Unidades derivadas**

- expressões algébricas das unidades de base

**Algumas unidades SI derivadas simples, expressas em termos das unidades básicas**

| Grandeza | Unidade | Símbolo |
|---|---|---|
| Área | metro quadrado | $m^2$ |
| Volume | metro cúbico | $m^3$ |
| Velocidade | metro por segundo | $m\ s^{-1}$ |
| Aceleração | metro por segundo ao quadrado | $m\ s^{-2}$ |
| Densidade | quilograma por metro cúbico | $kg\ m^{-3}$ |
| Concentração em quantidade de matéria | mol por metro cúbico | $mol\ m^{-3}$ |

**c) Unidades não pertencentes ao SI**

Por serem convenientes, são aceitas em publicações junto com as unidades do SI.

**Unidades não pertencentes ao SI, normalmente aceitas para uso com unidades SI**

| Grandeza | Unidade | Símbolo | SI |
|---|---|---|---|
| Tempo | minuto | min | 1 min = 60 s |
| | hora | h | 1 h = 60 min |
| | dia | d | 1 d = 24 h |
| Volume | litro | L | 1 L = 1 $dm^3$ = $10^{-3}$ $m^3$ |
| Massa | tonelada | t | 1 t = $10^3$ kg |
| Área | hectare | ha | 1 ha = $10^4$ $m^2$ |

**COMO EXPRESSAR UNIDADES**

**Exemplo:** **kg N $ha^{-1}$** **Incorreto**

**ou**

**kg $ha^{-1}$ de N** **Correto**

**Unidade não pode ser separada**

**d) Prefixos utilizados com SI**

- Permitem ajustar a ordem de grandeza das unidades

**Prefixos utilizados com unidades SI**

| Fator | Prefixos | Símbolo |
|---|---|---|
| $10^{-18}$ | Atto | a |
| $10^{-15}$ | Femto | f |
| $10^{-12}$ | Pico | p |
| $10^{-9}$ | Nano | n |
| $10^{-6}$ | Micro | μ |
| $10^{-3}$ | Mili | m |
| $10^{-2}$ | Centi | c |
| $10^{-1}$ | Deci | d |
| $10^{1}$ | Deca | da |
| $10^{2}$ | Hecto | h |
| $10^{3}$ | Quilo | k |
| $10^{6}$ | Mega | M |
| $10^{9}$ | Giga | G |
| $10^{12}$ | Tera | T |
| $10^{15}$ | Peta | P |
| $10^{18}$ | exa | E |

**2. Uso das unidades SI em Química e Fertilidade do Solo**

**a) <u>Comprimento</u>**

- **Correto: metro e seus múltiplos, formados com os prefixos apropriados**

- Não utilizado:

  - Ângstrom (A = $10^{-10}$ m = $10^{-4}$ μm = $10^{-1}$ nm)

**- <u>empregar micrômetro (μm), nanômetro (nm) etc.</u>**

**b) <u>Área</u>**

**- Correto: metro quadrado ($m^2$) e seus múltiplos.**

- O ha (hectare) não pertence ao SI mas é aceito para grandes áreas (1 ha = 10 000 $m^2$).

**c) <u>Volume</u>**

**- Correto: metro cúbico ($m^3$) e seus múltiplos**

- Litro (L, preferivelmente a l) e seus múltiplos são aceitavéis.

**d) <u>Massa</u>**

**- Correto: quilograma (kg) e seus múltiplos, formados com a palavra grama.**

- Tonelada (t) deve ser preferível a megagrama (Mg), pois pode confundir com o símbolo do magnésio

**e) Quantidade de matéria**

**- Correto: mol**

**mol = é a quantidade de matéria que contém tantas entidades elementares quantos forem os átomos contidos em 0,012 kg de $^{12}C$.**

0,012 kg de $^{12}C$ contém 6,02 x $10^{23}$ entidades (número de Avogadro)

1 mol de *moléculas* de um gás possui ~ 6,022 × $10^{23}$ *moléculas* deste gás

1 mol de *íon* equivale a ~ 6,02 × $10^{23}$ *íons*

1 mol de *grãos de areia* equivale a ~ 6,02 × $10^{23}$ *grãos de areia*

**e) Quantidade de matéria**

- Plural de mol é mols, não moles.

- Não utilizar: peso atômico (usar massa atômica)
  peso molecular (usar massa molecular)

**f) Concentração**

**- Correto: mol $m^{-3}$, mol $dm^{-3}$, mol $L^{-1}$ ou kg $m^{-3}$**

- Aceitam-se os múltiplos: mol $cm^{-3}$, mmol $dm^{-3}$, mg $kg^{-1}$, g $kg^{-1}$.

- Em desuso: molaridade e normalidade

**f) Concentração**

$$M = \frac{n^{o}\ mols}{L} = \frac{\frac{massa}{mol}}{L}$$

$$N = \frac{n^{o}\ Eg}{L} = \frac{\frac{mol}{valência}}{L}$$

**Normalidade = Molaridade . Valência**

## Molaridade (M)

$$M = \frac{n}{V}$$

mas

$$n = \frac{m}{MM}$$

($n$: número de mols; $m$: massa do soluto; $MM$: massa molar)

então

$$M = \frac{\frac{m}{MM}}{V}$$

Ou seja,

$$M = \frac{m}{V \times MM}$$

## Normalidade (N)

$$N = \frac{e}{V}$$

$$e = \frac{m}{Eg}$$

($e$: número de equivalentes-grama; $m$: massa do soluto)

$$Eg = \frac{MM}{x}$$

($x$: valência)

$$e = \frac{m}{\frac{MM}{x}} \Rightarrow e = \frac{m \times x}{MM}$$

$$N = \frac{\frac{m \times x}{MM}}{V} \Rightarrow N = \frac{m \times x}{V \times MM}$$

## Relação entre Molaridade (M) e Normalidade (N)

$$M = \frac{m}{V \times MM} \quad \text{e} \quad N = \frac{m \times x}{V \times MM}$$

**Dividindo M por N**

$$\frac{M}{N} = \frac{\frac{m}{V \times MM}}{\frac{m \times x}{V \times MM}} \Rightarrow \frac{M}{N} = \frac{m}{V \times MM} \times \frac{V \times MM}{m \times x}$$

**Ou seja,**

$$N = M \times x$$

**f) Concentração**

- Partes por milhão (ppm) e partes por bilhão (ppb): não utilizadas por serem unidades ambíguas.

Ex.: 4 ppm de P = 4 mg $dm^{-3}$ ou 4 mg $kg^{-1}$ ?

- Fertilidade: 4 mg $dm^{-3}$

- Levantamento: 4 mg $kg^{-1}$

**- Porcentagem (%): restrito aos casos que não podem ser descritos com unidades do SI.**

ex: coeficiente de variação, umidade relativa, saturação por bases, porcentagem de aumento ou de diminuição de uma grandeza, grau de cobertura do solo etc.

- Concentração de elementos químicos em plantas:
  * Utilizar
  - **g $kg^{-1}$ = 10 vezes maior que a %**
  - **mg $kg^{-1}$ = equivale ao ppm**
  - **µg $kg^{-1}$ = equivale ao ppb**

**f) Concentração**

Concentração de cátions trocáveis, CTC, SB etc.

**Utilizar:**

**- $mmol_c\ kg^{-1}$ ou $mmol_c\ dm^{-3}$**

**O que é $mmol_c$ ?**

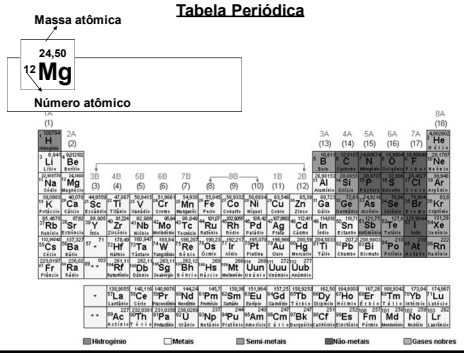
**1 $mmol_c$ = 1 meq = 1 Emg = $\frac{mmol}{valência}$**

**Exemplo:**

**1 $mol_c$ Ca = ?**

**1 $mol_c$ Ca = $\frac{mol\ Ca}{valência\ Ca}$**

**Tabela Periódica**



**1 $mmol_c$ = 1 meq = 1 Emg = $\frac{mmol}{valência}$**

**Exemplo:**

**1 $mol_c$ Ca = ?**

**1 $mol_c$ Ca = $\frac{mol\ Ca}{valência\ Ca}$**

**1 $mol_c$ Ca = $\frac{40}{2}$ = 20 g**

**1 $mmol_c$ Ca = $\frac{40}{2}$ = 20 mg Ca**

**1 $mmol_c$ $H^+$ = $\frac{1}{1}$ = 1 mg $H^+$**

- Concentração de cátions trocáveis, CTC, SB etc.

**Utilizar:**

**- $mmol_c$ $kg^{-1}$ ou $mmol_c$ $dm^{-3}$**

Unidades antigas:

meq/100 g, meq/100 mL e meq/100 $cm^3$

- mesmo valor numérico de $cmol_c$ $kg^{-1}$ ou $cmol_c$ $dm^{-3}$

**1 dm ⇨ 10 cm** **Densidade = 1**

**1 $dm^3$ ⇨ $10^3$ $cm^3$** **1 $dm^3$ = 1 kg**

**1 $dm^3$ ⇨ 1000 $cm^3$**

Unidade antiga ⇨ 100 $cm^3$ ⇨ 0,1 $dm^3$

$Ca^{2+}$ = 2 meq/100 $cm^3$ ⇨ 2 meq/0,1 $dm^3$ ⇨ 20 meq $dm^{-3}$

**O fator 10 vem da transformação de 100 $cm^3$ para $dm^3$**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
Disciplina: Química e Fertilidade do Solo

# AMOSTRAGEM DO SOLO

# AMOSTRAGEM

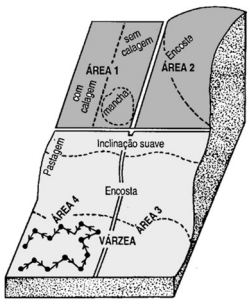
## ✓Plano de amostragem de terra

- Separação das glebas ou talhões em áreas homogêneas;
- Representatividade de uma amostra de terra;
- Número de amostras;
- Profundidade;
- Ferramentas;
- Armazenamento;
- Laboratório.

## ✓Separação das glebas

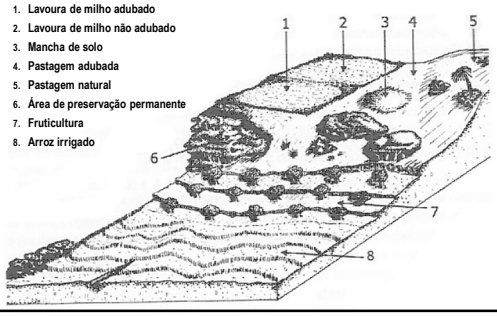
- Tipo de cobertura vegetal
  - ✓ - formas naturais (vegetação espontânea) e/ou implantadas (diversas culturas);
- Relevo
  - ✓ Delimitadas pelas mudanças na declividade;
- Características macroscópicas do solo
  - ✓ Principalmente cor e textura;
- Histórico da área e destinação agrícola
  - ✓ Especialmente com relação ao emprego de corretivos e adubos.

## AMOSTRAGEM




## EXEMPLO DE AMOSTRAGEM

1. Lavoura de milho adubado
2. Lavoura de milho não adubado
3. Mancha de solo
4. Pastagem adubada
5. Pastagem natural
6. Área de preservação permanente
7. Fruticultura
8. Arroz irrigado




## AMOSTRAGEM

### ✓Representatividade de uma amostra de terra

*Exemplo: Suponha uma área homogênea de 10 ha. Qual o volume de solo de 10 ha considerando apenas a camada de 0 a 0,2 m?*

**Cálculos:**

**1 ha ---------- 10.000 $m^2$**

**10 ha ---------- 100.000 $m^2$**

**Densidade de média de um solo arenoso: d = 1,4 g $cm^{-3}$ ou 1.400 kg $m^{-3}$**

**Densidade de média de um solo argiloso: d = 1,2 g $cm^{-3}$ ou 1.200 kg $m^{-3}$**

**Massa de solo arenoso em 10 ha = 0,2 x 100.000 x 1.400 = 28.000.000 kg**

**Massa de solo argiloso em 10 ha = 0,2 x 100.000 x 1.200 = 24.000.000 kg**

**Média = 25.000.000 kg**

## AMOSTRAGEM

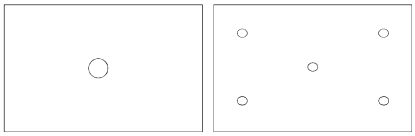
✓ ***Representatividade de uma amostra de terra***

- ✓ *Em 10 ha: em média 25.000.000 kg de terra*
- ✓ *No geral, é enviado para o laboratório cerca de 0,5 kg de terra*

❖ *Portanto, a amostra representa um total de terra aproximadamente 50 milhões de vezes maior!*

## AMOSTRAGEM

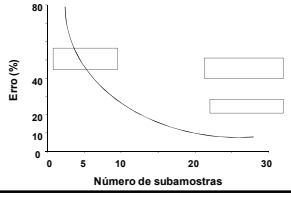
**Amostras simples x compostas**



## AMOSTRAGEM

✓ ***Número de subamostras***

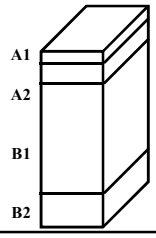
- ✓ ***Importante**: o erro diminui à medida que aumenta o número de subamostras (amostras simples), que irão formar as amostras a serem enviadas para o laboratório (amostras compostas).*



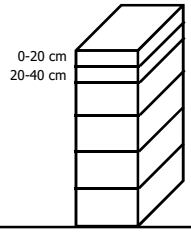
## AMOSTRAGEM

✓***Profundidade de amostragem***

**Por horizonte pedológico**



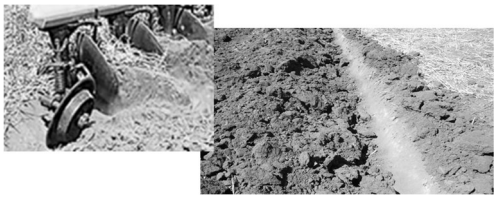

**Sistemático**




## AMOSTRAGEM

✓***Profundidade de amostragem***

- *Histórico da área e destinação agrícola*
  - ✓ *Especialmente com relação ao emprego de corretivos e adubos.*



## AMOSTRAGEM

✓***Profundidade de amostragem***

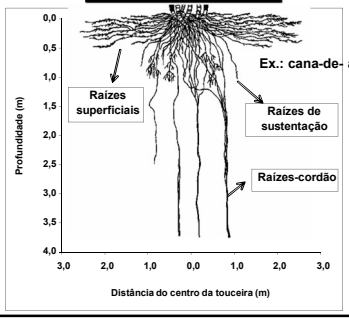
- *Histórico da área e destinação agrícola*
  - ✓ *Especialmente com relação ao emprego de corretivos e adubos.*

# AMOSTRAGEM

✓ ***Profundidade de amostragem***

- ***Cultura a ser implantada***
  - ✓ ***Cultura anual, perene e área de exploração das raízes***

# AMOSTRAGEM




**EXERCÍCIOS**

1. **Um dos pontos fundamentais para que a coleta de amostras de terra para fins de fertilidade seja correta é a divisão de áreas em glebas homogêneas. Quais critérios devem ser utilizados para de definirem as áreas homogêneas.**

2. **Por que há necessidade de se coletarem de 15 a 20 subamostras por área homogênea? Qual é a desvantagem de se coletarem apenas três pontos, por exemplo?**

3. **Calcule a massa de terra existente em 14 ha de uma área considerada homogênea (1 ha = 10.000 $m^2$ e considere densidade do solo = 1300 kg $m^{-3}$). Qual a quantidade de terra normalmente enviada para o laboratório? Quantas vezes a massa de terra enviada ao laboratório é menor do que a massa de terra correspondente à área que ela representa?**

**EXERCÍCIOS**

**4. Suponha uma fazenda com 159,2 ha, assim distribuídos: 61 ha de Latossolo Vermelho distrófico, num relevo uniforme, sendo que 26 ha foram adubados no ano anterior (com 18 ha de milho e 8 ha de sorgo) e 35 ha de pasto não adubado no ano anterior, com 12 ha de braquiária e 23 ha de capim-colonião. Da área restante, há 79 ha de Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico, sendo 29 ha com citros (16 ha no quarto ano – manutenção e 13 ha no primeiro ano - formação), 45 ha com cana-de-açúcar (32 ha não tratados e 13 ha tratados com vinhaça) e 5 ha com eucalipto. Existem também 19 ha de Nitossolo Vermelho eutroférrico cultivado com café, sendo 14 ha com leguminosa intercalar (adubo verde) e 5 ha sem leguminosa entrelinhas. A área da fazenda é totalizada com 0,2 ha de um Gleissolo Háplico, onde existe uma horta. Quantas amostras serão enviadas para o laboratório? Quantas tradagens serão feitas? Explicar os critérios utilizados.**

## AMOSTRAGEM

✓ **Ferramentas**

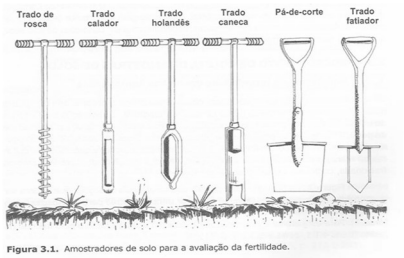
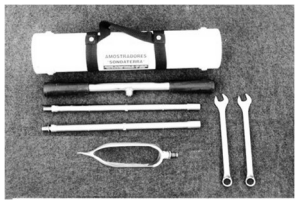
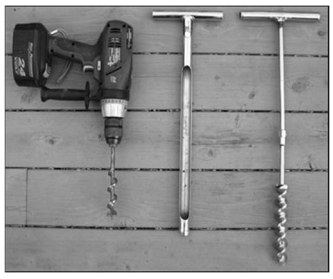



**Figura 3.1.** Amostradores de solo para a avaliação da fertilidade.

## AMOSTRAGEM

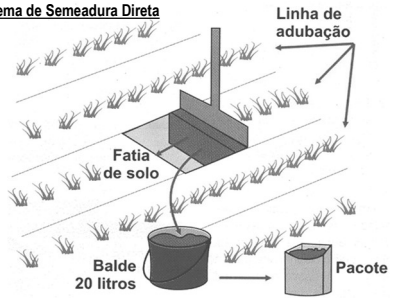


## AMOSTRAGEM



## AMOSTRAGEM

**Sistema de Semeadura Direta**




Fonte: Embrapa, 1997

## AMOSTRAGEM

Fonte: Martines, A. M. et al. 2006

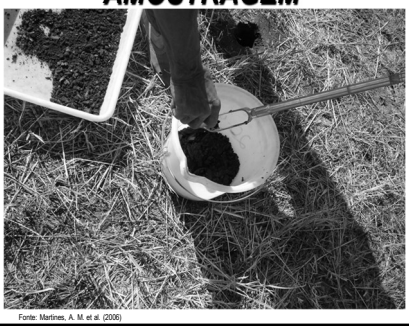
## AMOSTRAGEM

Fonte: Martines, A. M. et al. (2006)

## AMOSTRAGEM

Fonte: Martines, A. M. et al. (2006)

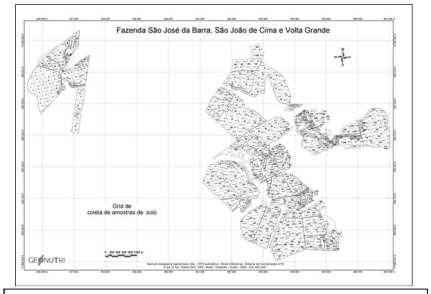
## AMOSTRAGEM



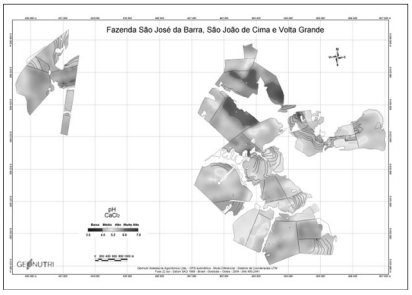
Fonte: Martines, A. M. et al. (2006)

## AMOSTRAGEM

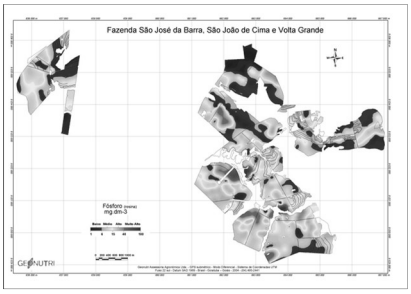
Fonte: Martines, A. M. et al. (2006)



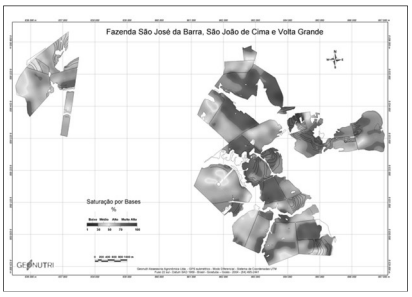

**Mapa mostrando os <u>pontos de coleta</u> de amostras de terra para levantamento detalhado do Estado da Fertilidade do Solo e Uso do Solo.**



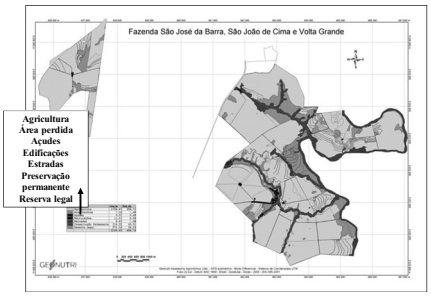

**Mapa de distribuição espacial do <u>pH $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$</u>.**




**Mapa de distribuição espacial de <u>P - resina</u>.**




**Mapa de distribuição espacial da saturação por bases (V%).**




**Mapa da distribuição espacial de uso do solo.**

## ANÁLISE QUÍMICA DE TERRA

## EXTRATORES

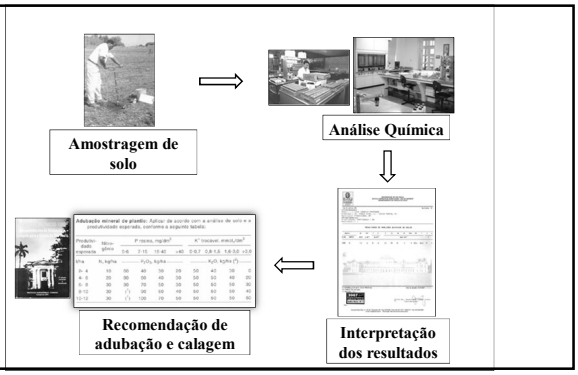
**Métodos para avaliação da fertilidade do solo**

**Principais métodos:**

**- Biológicos**
- Experimentos em vasos
- Experimentos em campo

**- Químicos**
- Análise química da planta *(análise foliar)*
- Análise química do solo

**Análise química do solo: método mais simples, rápido e eficiente de se avaliar o grau de fertilidade de um solo.**

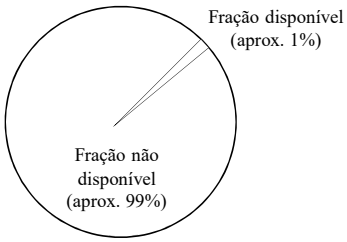


**Objetivo na análise química de solo**

**Determinar:**

- *** pH**
- *** Teor de matéria orgânica**
- *** Índices de acidez**
- *** Quantidades disponíveis dos nutrientes**

**Nutrientes no solo**




**Etapas de uma análise química de terra**

**Extração**

⇩

**Quantificação**

- Extrator: Substância que, em contato com uma amostra de solo, promove o deslocamento de pequena fração dos elementos da fase sólida para a fase líquida.

****Essa fração equivale, aproximadamente, à quantidade disponível do elemento.***

**Extratores e métodos de extração: podem variar de um laboratório para outro ou de uma região para outra.**

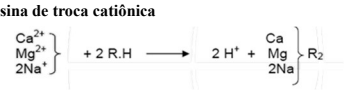
**Importante: conhecer quais os métodos utilizados pelo laboratório antes de enviar as amostras para análise e antes de fazer a interpretação dos resultados.**

**Extratores utilizados no estado de São Paulo**

| Elemento | Extrator |
|---|---|
| P | Resina de troca aniônica |
| K, Ca, Mg | Resina de troca catiônica |
| Al | KCl 1 mol $L^{-1}$ |

**Resinas de troca iônica:** produtos sintéticos, que colocados na solução, poderão liberar íons (resinas catiônicas) ou hidroxila (resinas aniônicas) e captar desta mesma solução, respectivamente, cátions e ânions.

**Resina de troca catiônica**




**Resina de troca aniônica**

**Extratores utilizados no estado de São Paulo**

| Elemento | Extrator |
|---|---|
| P | Resina de troca aniônica |
| K, Ca, Mg | Resina de troca catiônica |
| Al | KCl 1 mol $L^{-1}$ |
| **H + Al** | Solução tampão SMP (Shoemaker, McLean e Pratt) |
| **S-$SO_4$** | $Ca(H_2PO_4)_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ |

**Extratores utilizados no estado de São Paulo**

| Elemento | Extrator |
|---|---|
| P | Resina de troca aniônica |
| K, Ca, Mg | Resina de troca catiônica |
| Al | KCl 1 mol $L^{-1}$ |
| H + Al | Solução tampão SMP (não é extração) |
| S-$SO_4$ | $Ca(H_2PO_4)_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ |
| **Fe, Mn, Cu e Zn** | **DTPA** (Ácido dietileno-triamino-pentacético) |
| **B** | **Água quente** |
| **Mo** | **Oxalato de amônio** |

**Etapas de uma análise química de terra**

**Extração**

⇩

**Quantificação**

**Quantificação** (métodos utilizados)

- Fotometria de chama: K e Na
- Espectrofotometria de absorção atômica: Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn
- Colorimetria: P e S
- Titulometria: Al

**Elementos determinados e suas unidades**

**a) Determinações de rotina (análise básica)**

pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ ou pH em água ..... pH

Matéria orgânica (MO) ..... g $dm^{-3}$

P ..... mg $dm^{-3}$

K, Ca e Mg trocáveis (bases) ..... $mmol_c$ $dm^{-3}$

H+Al (acidez potencial) ..... $mmol_c$ $dm^{-3}$

**b) Determinações especiais**

Al trocável ..... $mmol_c$ $dm^{-3}$

$S\text{-}SO_4$ ..... mg $dm^{-3}$

Micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo) ..... mg $dm^{-3}$

$N\text{-}NH_4$ e $N\text{-}NO_3$ ..... mg $dm^{-3}$

***Obs: esta classificação pode variar de um laboratório para outro***

**Conversão de unidades**

Unidades antigas (até 1995) e atuais, do Sistema Internacional de Unidades, utilizadas na análise química de terra

| Unidade | | Fator de |
|---|---|---|
| **Antiga** | **Atual** (SI de unidades) | **conversão** |
| % | g $kg^{-1}$, g $dm^{-3}$, g $L^{-1}$ | 10 |
| ppm | mg $kg^{-1}$, mg $dm^{-3}$, mg $L^{-1}$ | 1 |
| meq/100 $cm^3$ | $mmol_c$ $dm^{-3}$ | 10 |
| meq/100g | $mmol_c$ $kg^{-1}$ | 10 |

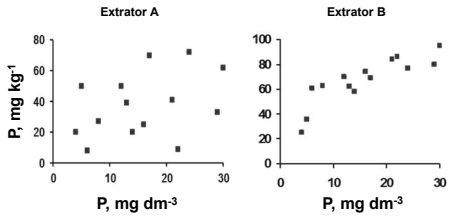
- Eficiência dos extratores

* Pode ser avaliada correlacionando-se a quantidade de um nutriente extraída pela planta com a quantidade extraída pelo extrator.

**Ex.:**Correlação entre P no solo extraído por dois extratores e P acumulado na planta. Qual o melhor extrator para fósforo, A ou B?

| | Teor de P no solo (mg $dm^{-3}$) | | P acumulado |
|---|---|---|---|
| Solo | Extrator A | Extrator B | na planta (mg/planta) |
| 01 | 10 | 2 | 8 |
| 02 | 8 | 4 | 10 |
| 03 | 12 | 4 | 11 |
| 04 | 23 | 6 | 14 |
| 05 | 4 | 5 | 15 |
| 06 | 8 | 8 | 18 |
| 07 | 8 | 9 | 18 |
| 08 | 2 | 12 | 23 |
| 09 | 32 | 16 | 27 |
| 10 | 29 | 18 | 30 |
| 11 | 35 | 23 | 35 |
| 12 | 39 | 22 | 36 |
| 13 | 15 | 27 | 40 |
| 14 | 34 | 31 | 43 |
| 15 | 43 | 36 | 50 |

**Resposta**




**Exercícios**

**1) E*ficiência dos extratores***

A determinação de fósforo de um solo, feita com o emprego do extrator "A", revelou um teor de 4,0 mg $dm^{-3}$ (teor baixo), e a recomendação de adubação fosfatada para a cultura da soja, nesse caso, é de 100 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$. Um experimento realizado nesse solo, contudo, mostrou que a soja não respondeu à adubação fosfatada.

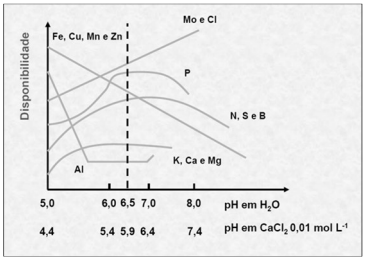
Pergunta-se: o extrator "A" foi eficiente para esta situação? Por quê?

*Considerar que a amostra foi coletada corretamente, que o solo era homogêneo na área do experimento e que este foi bem conduzido.*

## Determinação do pH da solução do solo

**Introdução**

- Reação do solo
- pH e disponibilidade de nutrientes




**Conceito de pH**

- Água pura:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

$[H^+] = 0{,}0000001$ mol $L^{-1}$ de $H^+$

$[OH^-] = 0{,}0000001$ mol $L^{-1}$ de $OH^-$

$[H^+] = 10^{-7}$ mol $L^{-1}$

$\log [H^+] = -7$

$-\log [H^+] = 7 = pH$

$pH = -\log [H^+] = 7$ ou **$pH = 1/\log [H^+]$**

**pH é expresso como atividade do $H^+$**

**Atividade** = concentração efetiva: medida da concentração efetiva de um íon ou substância numa reação química

* Soluções diluídas: atividade ~ concentração

* Soluções concentradas: atividade < concentração

Para corrigir o efeito da concentração, utiliza-se o *coeficiente de atividade* = razão entre a atividade e a concentração:

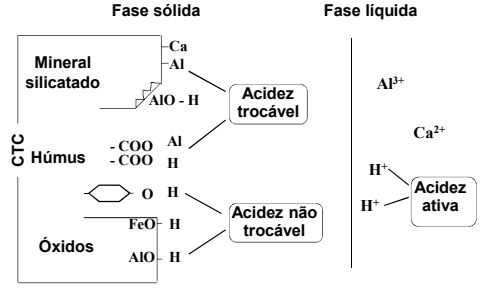
$$\frac{A}{C} = \alpha = \textbf{\textit{coeficiente de atividade}}$$

$A = C.\ \alpha$ (sendo $\alpha \leq 1$)

Logo, é mais correto expressar o pH em função da atividade do H:

**$pH = -\log (H^+)$**

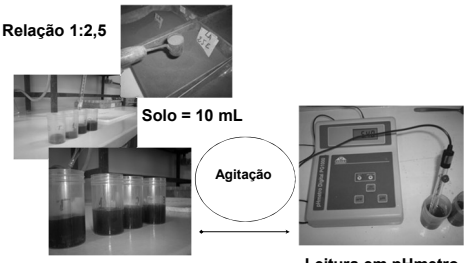
**pH do solo = acidez atual ou ativa**




**Acidez trocável + Acidez não trocável = Acidez Potencial**

**pH em água**

**Relação 1:2,5**

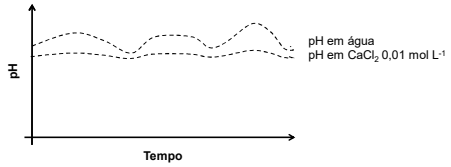



**pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$**

Relação 1:2,5

**Vantagens:**

- **Estabilização mais rápida da leitura do pH;**
- **Melhor correlação com produção das culturas do que o pH em $H_2O$**




**pH em KCl 1 mol $L^{-1}$**: usado em Classificação do solo

**$\Delta$ pH = $pH_{KCl\ 1M} - pH_{H2O}$**

**$\Delta$ pH negativo = saldo de cargas negativas (mais comum)**

**$\Delta$ pH positivo = saldo de cargas positivas**

**$\Delta$ pH nulo = saldo nulo de cargas → solo no PCZ**

**Amostras de solos → maioria absoluta tem $\Delta$pH negativo**

**Camadas subsuperficiais de solos extremamente intemperizados → podem ter $\Delta$pH positivo**

**Classes de acidez e saturação por bases**

*(tabela válida para amostras coletadas de 0-20 cm)*

| Acidez | pH $CaCl_2$ 0,01 M | Saturação por bases | V% |
|---|---|---|---|
| Muito alta | até 4,3 | Muito baixa | 0 - 25 |
| Alta | 4,4 - 5,0 | Baixa | 26 - 50 |
| Média | 5,1 - 5,5 | Média | 51 - 70 |
| Baixa | 5,6 - 6,0 | Alta | 71 - 90 |
| Muito baixa | > 6,0 | Muito alta | > 90 |

# Cálculos e Exercícios Práticos

## Curva de neutralização de três solos da região de Piracicaba

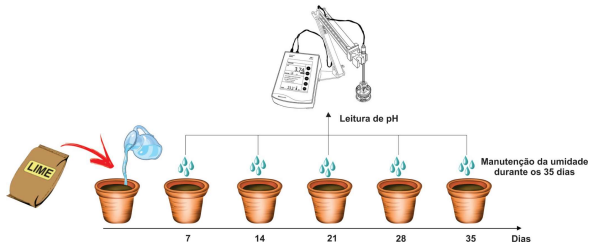
**Descrição do experimento:** Foram utilizadas amostras da camada de 0-20 cm de três solos da região de Piracicaba (Cambissolo, Argissolo e Neossolo).

Amostras de 100 mL receberam calcário (PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total = 90%) em doses correspondentes a:

**1 – Controle (sem calcário);**
**2 – 1 t $ha^{-1}$;**
**3 – 2 t $ha^{-1}$;**
**4 – 4 t $ha^{-1}$;**
**5 – 6 t $ha^{-1}$;**
**6 – 10 t $ha^{-1}$;**
**7 – 20 t $ha^{-1}$.**

Inicialmente: amostras foram acondicionadas em copos plásticos e incubadas (adição do calcário + água + manutenção do peso constante) por 35 dias.

Na sequência: os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ e pH em água (relação 1:2,5) foram determinados aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.



**Exercícios:**

1. Considerando os atributos químicos dos três solos (Tabela 1), apontem em quais deles deve ter havido o maior e o menor aumento dos valores de pH e expliquem por que.

**Tabela 1.** Atributos químicas dos solos do experimento, antes da aplicação do calcário.

| Solo | pH* | MO | K | Ca | Mg | Al | H+Al | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | g $dm^{-3}$ | ----------mmol$_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | % | |
| Cambissolo | 4,9 | 37 | 7,0 | 80 | 11 | 1 | 58 | 156 | 63 | 1 |
| Argissolo | 3,4 | 28 | 3,9 | 18 | 6 | 14 | 121 | 149 | 19 | 33 |
| Neossolo | 3,6 | 11 | 0,3 | 4 | 1 | 12 | 25 | 30 | 17 | 69 |

*pH em $CaCl_2$ 0,01M

2. Compare a sua expectativa, expressa pela resposta dada na questão anterior, com o resultado obtido, mostrado na Figura 1. Houve divergências?

3. Por que o pH do solo aumenta com a dose de calcário até determinado valor e depois praticamente se mantém constante?

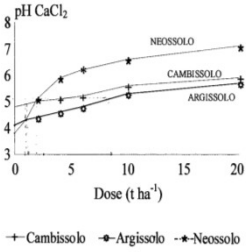



**Figura 1. pH dos solos em função das doses de calcário após 35 dias de incubação.**

4. Observe a Figura 2 e responda: a correlação entre os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ e pH em água do Neossolo Quartzarênico foi baixa, média ou alta? Comente a resposta. Utilizando a equação apresentada na Figura 2, calcule quais seriam os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ quando o pH em água fosse 3, 4, 5, 6 e 7 (Monte uma tabela).

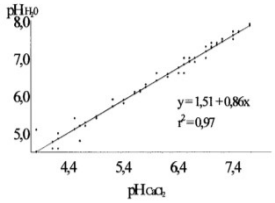



**Figura 2. Correlação entre pH em $CaCl_2$ 0,01M com pH em água para o Neossolo Quartzarênico.**

5. Calcule a necessidade de calagem para os solos do experimento, pelo método da saturação por bases, considerando que as saturações desejadas são 50% (ex.: eucalipto) e 70% (ex.: milho). Qual seria aproximadamente o pH de cada solo caso a dose calculada fosse aplicada? Consulte a Figura 1.

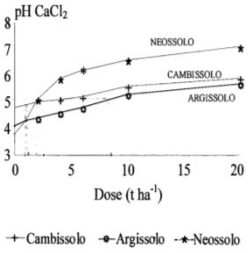



**Figura 1. pH dos solos em função das doses de calcário após 35 dias de incubação.**

Fórmulas a serem utilizadas:

Soma de bases (SB) = K + Ca + Mg

CTC = SB + H + Al

Porcentagem de saturação por bases (V%) = SB x 100 / CTC

**Cálculo da necessidade de calagem (NC)**

**NC (t ha$^{-1}$) = ($V_2$ - $V_1$ ) x CTC / 10 PRNT**

$V_2$ = V% desejada para a cultura;

$V_1$ = V% do solo.

6. As Figuras 3, 4 e 5 mostram que houve tendência de o pH diminuir levemente a partir dos 14 dias de incubação. Como explicar esse fenômeno?

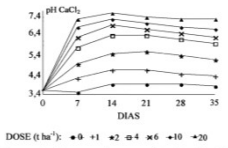



Figura 3. Curvas de neutralização do Neossolo Quartzarênico para diferentes doses de calcário.

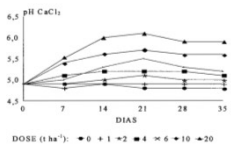



Figura 4. Curvas de neutralização do Cambissolo Háplico para diferentes doses de calcário.

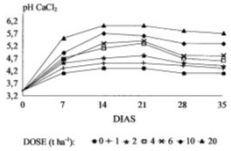



Figura 5. Curvas de neutralização do Argissolo Vermelho-Amarelo para diferentes doses de calcário.

**Repostas:**

1. Considerando os atributos químicos dos três solos (Tabela 1), apontem em quais deles deve ter havido o maior e o menor aumento dos valores de pH e explique por que.

*Deve ter havido o maior aumento de pH no Neossolo devido à menor CTC e ao menor teor de MO. A CTC e MO influenciam o poder tampão do solo, pois baixas quantidades de cargas no solo resultam em baixa resistência à alteração do pH.*

*O menor aumento do valor de pH deve ter sido no Argissolo, devido à alta CTC, teor de MO e Al. Nesse solo há maior quantidade de carga, o que resulta numa maior resistência em alterar o pH. Outro fator é a quantidade de Al, pois cada Al consome 3 $OH^-$ e isso faz com que seja necessário maior quantidade de calcário para que o pH seja elevado.*

2. Compare a sua expectativa, expressa pela resposta dada na questão anterior, com o resultado obtido, mostrado na Figura 2. Houve divergências?

3. Por que o pH do solo aumenta com a dose de calcário até determinado valor e depois mantém-se constante?

*Reação do calcário:*

$$Ca(Mg)CO_3 + H_2O \longrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + CO_3^{2-}$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + \boxed{OH^-}$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + \boxed{OH^-}$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O + CO_2$$

*Reação com a acidez potencial (H+Al) do solo:*

$$OH^- + \boxed{H^+} \rightleftharpoons H_2O$$

$$3OH^- + \boxed{Al^{3+}} \rightleftharpoons Al(OH)_3$$

*O consumo de $H^+$ e $Al^{3+}$ do solo pela reação com calcário chega ao equilibro dinâmico no qual não há deslocamento da reação para a formação de produto, e assim o pH tende a se manter constante.*

4. Observe a Figura 1 e responda: a correlação entre os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ e pH em água do Neossolo Quartzarênico foi baixa, média ou alta? Comente a resposta. Utilizando a equação apresentada na Figura 1, calcule quais seriam os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ quando o pH em água fosse 3, 4, 5, 6 e 7 (Monte uma tabela).

*A correlação entre os valores de pH em $CaCl_2$ e em água foi alta, o que pode ser observado pelo elevado valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 0,97$). Isso indica que 97% da variação na variável dependente (pH em $H_2O$) pode ser explicada pela variação nos valores do pH em $CaCl_2$.*

4. Observe a Figura 1 e responda: a correlação entre os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ e pH em água do Neossolo Quartzarênico foi baixa, média ou alta? Comente a resposta. Utilizando a equação apresentada na Figura 1, calcule quais seriam os valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ quando o pH em água fosse 3, 4, 5, 6 e 7 (Monte uma tabela).

**Tabela 2.** Valores de pH em $CaCl_2$ estimados pelo pH em água.

| pH em água | pH em $CaCl_2$ |
|---|---|
| 3 | 2,0 |
| 4 | 3,1 |
| 5 | 4,3 |
| 6 | 5,5 |
| 7 | 6,6 |

Forma de calcular:

$y = 1,51 + 0,86*x$

$pH\ H_2O = 1,51 + 0,86*pH\ CaCl_2$

$\frac{pH\ H_2O}{0,86} - 1,51 = pH\ CaCl_2$

$pH\ CaCl_2 = \frac{pH\ H_2O}{0,86} - 1,51$

$pH\ CaCl_2 = \frac{3}{0,86} - 1,51$

$pH\ CaCl_2 = 2,0$

5. Calcule a necessidade de calagem para os solos do experimento, pelo método da saturação por bases, considerando que as saturações desejadas sejam 50% (ex.: eucalipto) e 70% (ex.: milho). Qual seria aproximadamente o pH de cada solo caso a dose calculada fosse aplicada? Consulte a Figura 2.

Fórmula da Necessidade de Calagem (NC):

$$NC\ (t\ ha^{-1}) = \frac{(V_2 - V_1)\ x\ CTC}{10\ x\ PRNT}$$

Necessidade de Calagem para a cultura do eucalipto:

$NC_{Cambissolo}$ = Não necessita de calagem pois a saturação por bases (63%) está acima do exigido pela cultura.

$$NC_{Argissolo} = \frac{(V_2 - V_1)\ x\ CTC}{10\ x\ PRNT} => \frac{(50 - 19)\ x\ 149}{10\ x\ 90} = 5,1\ t\ ha^{-1}$$

$$NC_{Neossolo} = \frac{(V_2 - V_1)\ x\ CTC}{10\ x\ PRNT} => \frac{(50 - 17)\ x\ 30}{10\ x\ 90} = 1,1\ t\ ha^{-1}$$

Necessidade de calagem para a cultura do milho:

$$NC_{Cambissolo} = \frac{(V_2 - V_1)\ x\ CTC}{10\ x\ PRNT} => \frac{(70 - 6\ )\ x\ 156}{10\ x\ 90} = 1,2\ t\ ha^{-1}$$

$$NC_{Argissolo} = \frac{(V_2 - V_1)\ x\ CTC}{10\ x\ PRNT} => \frac{(70 - 19)\ x\ 149}{10\ x\ 90} = 8,4\ t\ ha^{-1}$$

$$NC_{Neossolo} = \frac{(V_2 - V_1)\ x\ CTC}{10\ x\ PRNT} => \frac{(70 - 17)\ x\ 30}{10\ x\ 90} = 1,8\ t\ ha^{-1}$$

**Tabela 3.** Estimativa do pH $CaCl_2$ em função da dose de calcário a ser aplicado.

| Solo | Necessidade de calcário (t $ha^{-1}$) | | pH $CaCl_2$ estimado | |
|---|---|---|---|---|
| | Eucalipto | Milho | Eucalipto | Milho |
| Cambissolo | 0 | 1,2 | 4,8 | 4,8 |
| Argissolo | 5,1 | 8,4 | 4,6 | 4,8 |
| Neossolo | 1,1 | 1,8 | 4,0 | 4,2 |

6. As Figuras 3, 4 e 5 mostram que houve tendência de o pH diminuir levemente a partir dos 14 dias de incubação. Como explicar esse fenômeno?

*Reação do calcário:*

$$Ca(Mg)CO_3 + H_2O \longrightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + CO_3^{2-}$$

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + OH^-$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H_2O + \boxed{CO_2}$$

*Reação do $CO_2$ com a solução do solo:*

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons \boxed{H^+ + HCO_3^-}$$

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons \boxed{H_2CO_3}$$

*O $CO_2$ produzido pela reação do calcário sofre dissolução em meio líquido, o que favorece a formação de bicarbonato e ácido carbônico, os quais posteriormente reagem e liberam $H^+$ para a solução do solo. A liberação de ácidos orgânicos durante o início da decomposição da matéria orgânica também tende a promover redução do pH num curto prazo.*

# Exercícios sobre Matéria Orgânica do solo

## Aplicações do teor de C ou M.O.

- Correlação positiva com CTC: alto teor de M.O. → alta CTC

- Avaliar o impacto de um dado uso da terra ou prática de manejo adotada na área

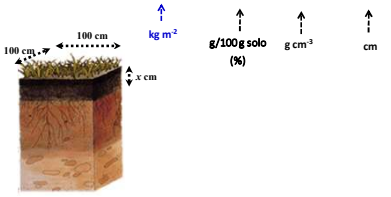
* C/M.O. é o principal indicador de **qualidade do solo e sustentabilidade do sistema**

## Cálculo do estoque de carbono

**Estoques por camada de solo**

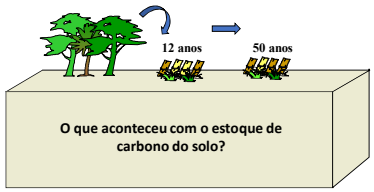
**kg m$^{-2}$ ou t ha$^{-1}$ de C**

**E = (conteúdo C *x* d *x* espessura)/10**




**Estudo de caso:**

**Mudança de uso da terra:** Vegetação nativa para cana-de-açúcar




Experimento realizado em Piracicaba (C.C.Cerri)

Ex.: Solo sob floresta (0 – 20 cm)

| Camada (cm) | Densidade | Teor de C g/100g ou (%) |
|---|---|---|
| 0-6 | 1,22 | 4,78 |
| 6-12 | 1,38 | 2,32 |
| 12-20 | 1,35 | 1,64 |

Cálculo do estoque de carbono no camada 0-20 cm

E = [teor de C (g/100g) x densidade (g $cm^{-3}$) x espessura (cm)]/10

* **1º. Passo: calcular o estoque por camada:**

$E_{0-6}$ = 4,78 g/100g x 1,22 g $cm^{-3}$ x 6 cm = 34,99 g/100 $cm^2$

$E_{0-6} = \frac{34,99 g}{100 cm^2} \times \frac{10.000}{1 m^2} = 3.499 g m^{-2} = 3,50 kg m^{-2}$

$E_{6-12}$ = (2,32 g/100g x 1,38 g $cm^{-3}$ x 6 cm) / 10 = 1,92 kg $m^{-2}$

$E_{12-20}$ = 1,64 g/100g x 1,35 g $cm^{-3}$ x 8 cm) / 10 = 1,77 kg $m^{-2}$

$E_{0-20}$ = 7,19 kg $m^{-2}$

## Cálculo do estoque de carbono

Exercício: Calcular os estoques de carbono numa sucessão floresta / cana-de-açúcar e interpretar resultados

| Florest | | | |
|---|---|---|---|
| Camada (cm) | Densidade | C (g/100g) | E (kg $m^{-2}$) |
| 0-6 | 1,22 | 4,78 | 3,50 |
| 6-12 | 1,38 | 2,32 | 1,92 |
| 12-20 | 1,35 | 1,64 | 1,77 |
| | | | Total = 7,19 |
| Cana de açucar | 12 anos | | |
| 0-10 | 1,24 | 1,65 | |
| 10-20 | 1,54 | 1,55 | |
| Cana de açucar | 50 anos | | |
| 0-10 | 1,26 | 1,46 | |
| 10-20 | 1,28 | 1,57 | |

Resultados por camada:

| Florest | | | Estoque (kg $m^{-2}$ de C) |
|---|---|---|---|
| Camada (cm) | Densidade | C (g/100g) | |
| 0-6 | 1,22 | 4,78 | 3,5 |
| 6-12 | 1,38 | 2,32 | 1,9 |
| 12-20 | 1,35 | 1,64 | 1,8 |
| | | | 7,2 (camada 0-20 cm) |
| Cana de açucar | 12 anos | | |
| 0-10 | 1,24 | 1,65 | 2,0 |
| 10-20 | 1,54 | 1,55 | 2,4 |
| | | | 4,4 (camada 0-20 cm) |
| Cana de açucar | 50 anos | | |
| 0-10 | 1,26 | 1,46 | 1,8 |
| 10-20 | 1,28 | 1,57 | 2,0 |
| | | | 3,8 (camada 0-20 cm) |

Resultados na camada de 0-20 cm:

**Floresta nativa**

$E_{0-20}$ = ..... = 7,2 kg $m^{-2}$

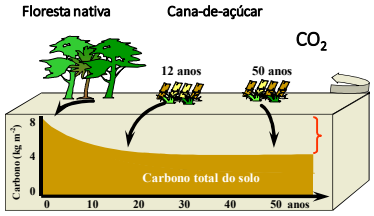
**Cana-de-açúcar (12 anos)**

$E_{0-20}$ = ..... = 4,4 kg $m^{-2}$

**Cana-de-açúcar (50 anos)**

$E_{0-20}$ = ..... = 3,8 kg $m^{-2}$

**Visualização gráfica da variação no estoque de carbono na sucessão floresta / cana-de-açúcar**




**Conclusões:**

- Na vegetação nativa havia entrada contínua de material orgânico facilmente decomponível – alta diversidade de substrato orgânico condiciona alta diversidade microbiana.

- Conversão do uso da terra para cana queimada: queda acentuada no estoque nos primeiros 12 anos – pouca palha remanescente na superfície do solo, sem reposição contínua que havia na mata.

- Organismos passam a consumir MO que havia sido acumulada na floresta por muito tempo.

- De 12 a 50 anos de cana queimada: estoques caem de forma bem menos abrupta – população caiu em número e diversidade ; e material remanescente é mais estável (recalcitrante).

**EXERCÍCIO 2**

Baseado nos resultados experimentais a seguir, estime a porcentagem de decomposição da palha de milho após 10 dias de incubação. Experimento: em um frasco com 100 g de solo adicionaram-se 400 mg da palha de milho contendo 50% de C. Após incubação com umidade e temperatura adequadas por 10 dias, verificou-se que 80 mg de C foram evoluídas como $CO_2$ do solo que recebeu a palha, enquanto no mesmo solo e condições, porém sem palha, emanaram-se apenas 20 mg C-$CO_2$.

**RESPOSTA EXERCÍCIO 2**

Baseado nos resultados experimentais a seguir, estime a porcentagem de decomposição da palha de milho após 10 dias de incubação. Experimento: em um frasco com 100 g de solo adicionaram-se 400 mg da palha de milho contendo 50% de C. Após incubação com umidade e temperatura adequadas por 10 dias, verificou-se que 80 mg de C foram evoluídas como $CO_2$ do solo que recebeu a palha, enquanto no mesmo solo e condições, porém sem palha, emanaram-se apenas 20 mg C-$CO_2$.

*Nota: a porcentagem de decomposição da palha pode ser estimada pela expressão:*

***[(C-$CO_2$ do solo com palha) – (C-$CO_2$ do solo sem palha) / quantidade de C adicionado via palha] * 100***

**[(80-20)/200]*100 = 30%**

**EXERCÍCIO 3**

Estime a quantidade de resíduos e o tempo para elevar em 1 % o teor de MO em 10 cm, considerando a densidade solo igual 1,0 g $cm^{-3}$.
A conversão da MO em C (C = MO/1,724), transformação do C-resíduo em C-matéria na orgânica é da ordem de 30 %. O resíduo possui em média 45% de C e adição anual de 5 t $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ de resíduos.

**RESPOSTA EXERCÍCIO 3**

Estime a quantidade de resíduos e o tempo para elevar em 1 % o teor de MO em 10 cm, considerando a densidade solo igual 1,0 g $cm^{-3}$. A conversão da MO em C (C = MO/1,724), transformação do C-resíduo em C-matéria na orgânica é da ordem de 30 %. O resíduo possui em média 45% de C e adição anual de 5 t $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ de resíduos.

Vsolo= 100 x 100 x 0,1 = 1000 $m^3$

Densidade = 1 g $cm^{-3}$ = 1 kg $L^{-1}$ = 1 t $m^{-3}$

Massa de solo = 1000 t $m^{-3}$ ou 1000 t $ha^{-1}$

1000 t $ha^{-1}$ de solo * 1% de MOS (aumento) = 1000 * 0,01 = 10 t $ha^{-1}$ de MOS

10 t $ha^{-1}$ de MOS / 1,724 = 5,8 t C $ha^{-1}$

5,8 t C $ha^{-1}$ / 30% (considerando 70 de perda na forma de $CO_2$) = 5,8/0,3
= 19,33 t C $ha^{-1}$

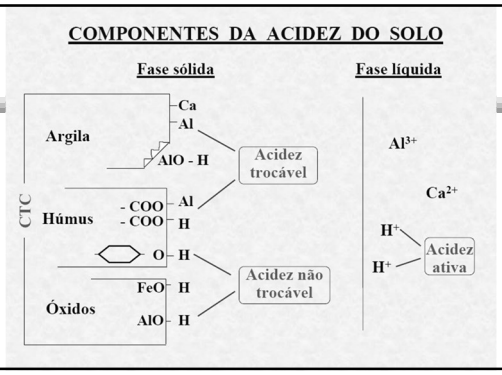
19,33 t C $ha^{-1}$ / 0,45 (considerando 45% de C no resíduo) = **42,96 t MS $ha^{-1}$**

ΔT para aumento de 1% da MOS (adição de 5 t ha ano) = 42,96 / 5
= **8,59 ou 9 anos**

# Acidez potencial e acidez trocável do solo

- Determinação/estimativa da Acidez potencial (H+Al);
- Determinação do Alumínio trocável ($Al^{3+}$)

Leitura auxiliar: Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais* . IAC, 2001.




## Determinação da acidez trocável (Al trocável)

Princípio: extração do Al trocável com KCl 1 mol $L^{-1}$ e titulação com NaOH 0,025 mol $L^{-1}$

- Terra + KCl 1 mol $L^{-1}$ → Agitação 15 min → Filtração
- Titulação do extrato com NaOH 0,025 mol $L^{-1}$ na presença de indicador fenolftaleína ou azul de bromocresol

## Cálculo do teor de Al

$Al\ (mmol_c\ dm^{-3}) = (V_A - V_B) \times C_{NaOH} \times 50 \times 1.000 / 25 \times 5$

$V_A$ = volume de NaOH gasto na titulação da amostra (em mL)
$V_B$ = volume de NaOH gasto na titulação da prova em branco (em mL)
$C_{NaOH}$ = 0,025 mol $L^{-1}$
50 = volume total do extrato de KCl (50 mL)
1.000 = fator para passar de $cm^3$ para $dm^3$
25 = alíquota titulada do extrato de KCl (25 mL)
5 = volume do solo analisado ($cm^3$)

Resumindo: $Al\ (mmol_c\ dm^{-3}) = (V_A - V_B) \times 10$

124

## Determinação da Acidez Potencial (H+Al)

**Princípio: Determinação da concentração de H + Al presentes na fase sólida do solo + solução**

- Solo comporta-se como ácido fraco.
- Acidez potencial: forma não dissociada de H
- Extração com acetato de cálcio (CaOAc) 0,5 mol $L^{-1}$ a pH 7,0

- 2,5 $cm^3$ de terra / 50 mL de CaOAc 0,5 mol $L^{-1}$ a pH 7,0
- Agitação, filtração
- Titulação com NaOH 0,025 mol $L^{-1}$

## Cálculo do teor de H + Al

$H + Al\ (mmol_c\ dm^{-3}) = (V_A - V_B) \times C_{NaOH} \times 50 \times 1.000 / 25 \times 2,5$

$V_A$ = volume de NaOH gasto na titulação da amostra (em mL)
$V_B$ = volume de NaOH gasto na titulação da prova em branco (em mL)
$C_{NaOH}$ = 0,025 mol $L^{-1}$
50 = volume total do extrato de KCl (50 mL)
1.000 = fator para passar de $cm^3$ para $dm^3$
25 = alíquota titulada do extrato de KCl (25 mL)
2,5 = volume do solo analisado ($cm^3$)

Resumindo: $H + Al\ (mmol_c\ dm^{-3}) = (V_A - V_B) \times 20$

126

## Estimativa da Acidez Potencial (H+Al)

**Solução tampão SMP**

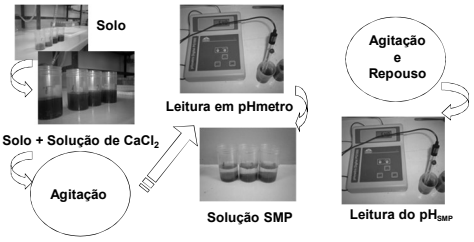
- **Autores do método: Shoemaker, Mc Lean e Pratt (1961)**
- **Mistura de reagentes: *p*-nitrofenol, trietanolamina, cromato de potássio, acetato de cálcio e cloreto de cálcio;**
- **Mistura do tampão (inicialmente a pH 7,5) com a suspensão de solo e agitação;**
- **Medição do pH de equilíbrio.**

## Estimativa da Acidez Potencial (H+Al)

- **Determinação pela solução tampão SMP: 5 mL de solução tampão SMP na suspensão em que se determinou o pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$.**
- **Solução tampão pH 7,5: provoca deslocamento do H+Al da fase sólida até que ocorra o equilíbrio**

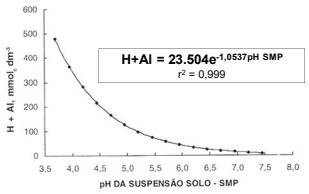
**Quanto < pH SMP ⟶ > quantidade de H+Al da fase sólida.**

## Acidez Potencial – Tampão SMP



## Estimativa da Acidez Potencial (H+Al) - solos de SP

**Curva de calibração**: valores do pH SMP e H+Al por CaOAc 0,05 mol $L^{-1}$ a pH 7,0




Correspondência de valores de $pH_{SMP}$ e H+Al ($mmol_c/dm^3$ de solo)

| $pH_{SMP}$ | $H+Al^{3+}$ | $pH_{SMP}$ | $H+Al^{3+}$ | $pH_{SMP}$ | $H+Al^{3+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.50 | 588 | 5.00 | 121 | 6.50 | 25 |
| 3.55 | 558 | 5.05 | 115 | 6.55 | 24 |
| 3.60 | 528 | 5.10 | 109 | 6.60 | 22 |
| 3.65 | 502 | 5.15 | 104 | 6.65 | 21 |
| 3.70 | 477 | 5.20 | 98 | 6.70 | 20 |
| 3.75 | 452 | 5.25 | 93 | 6.75 | 19 |
| 3.80 | 429 | 5.30 | 88 | 6.80 | 18 |
| 3.85 | 407 | 5.35 | 84 | 6.85 | 17 |
| 3.90 | 386 | 5.40 | 80 | 6.90 | 16 |
| 3.95 | 366 | 5.45 | 75 | 6.95 | 16 |
| 4.00 | 347 | 5.50 | 72 | 7.00 | 15 |
| 4.05 | 330 | 5.55 | 68 | 7.05 | 14 |
| 4.10 | 313 | 5.60 | 64 | 7.10 | 13 |
| 4.15 | 297 | 5.65 | 61 | 7.15 | 13 |
| 4.20 | 281 | 5.70 | 58 | 7.20 | 12 |
| 4.25 | 267 | 5.75 | 55 | 7.25 | 11 |
| 4.30 | 253 | 5.80 | 52 | 7.30 | 11 |
| 4.35 | 240 | 5.85 | 50 | 7.35 | 10 |
| 4.40 | 228 | 5.90 | 47 | 7.40 | 10 |
| 4.45 | 216 | 5.95 | 45 | 7.45 | 9 |
| 4.50 | 205 | 6.00 | 42 | | |
| 4.55 | 195 | 6.05 | 40 | | |
| 4.60 | 185 | 6.10 | 38 | | |
| 4.65 | 175 | 6.15 | 36 | | |
| 4.70 | 166 | 6.20 | 34 | | |
| 4.75 | 158 | 6.25 | 33 | | |
| 4.80 | 150 | 6.30 | 31 | | |
| 4.85 | 142 | 6.35 | 29 | | |
| 4.90 | 135 | 6.40 | 28 | | |
| 4.95 | 128 | 6.45 | 26 | | |

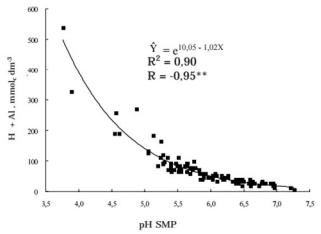
**Exemplo**: Dados os valores do pH SMP, obter os valores da acidez potencial (em $mmol_c$ $dm^{-3}$)

| pH SMP | H + Al ($mmol_c$ $dm^{-3}$) |
|---|---|
| 3,9 | 385,9 |
| 4,7 | 166,1 |
| 6,1 | 38,0 |

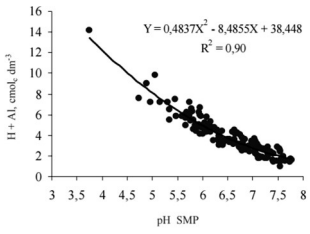
**A acidez potencial também está sendo estimada pelo método do tampão SMP para solos de outros estados brasileiros**

- **Importância da experimentação local!!!**
- **Equações obtidas para cada estado.**

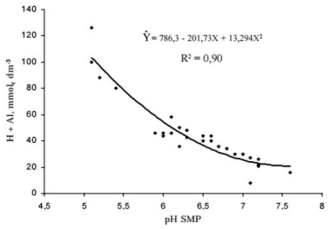
## Estimativa da Acidez Potencial (H+Al) - solos do RJ




## Estimativa da Acidez Potencial (H+Al) - solos de PE



# Estimativa da Acidez Potencial (H+Al) - solos do PA




**Questões para estudo**

1) Qual a diferença entre atividade e concentração de H+? Qual delas realmente expressa o valor de pH da solução do solo?

2) Por que, quando se usa uma solução salina, o pH é menor do que quando se mede o pH em água num solo com balanço negativo de cargas?

3) a) Qual o princípio da obtenção do teor de carbono no solo pelo método do dicromato de potássio? b) Qual a função do dicromato na extração do teor de C do solo?

4) Como estimar o teor de matéria orgânica do solo a partir do teor de C? Qual o fundamento envolvido neste cálculo?

5) Com base nos resultados da tabela abaixo de uma floresta nativa e de uma área cultivada com milho, calcule os estoques de C do solo (camada de 0-20 cm).

| Área | Densidade do solo (g cm$^{-3}$) | Teor de C (g kg$^{-1}$) |
|---|---|---|
| Floresta nativa | 1,15 | 42,3 |
| Milho | 1,35 | 19,5 |

6) Explique o princípio de ação do acetato de cálcio para obtenção do H+Al. Contemple o termo "dissociação" na sua resposta.

7) Por que o método do tampão pH-SMP é um método indireto de obtenção da acidez potencial?

8) O solo X apresentou pH-SMP = 6,2, enquanto o solo Y apresentou pH-SMP = 7,1. Qual desses solos apresenta maior H+Al? Explique.

9) Por que os extratores ácidos podem não ser a melhor opção para extrair o teor de fósforo em solos da região tropical úmida?

10) a) Defina Resina Trocadora de Íons e qual o princípio de sua ação na extração de P, Ca, Mg e K? b) Por que a resina foi escolhida como método oficial para extração de fósforo no estado de São Paulo no lugar de extratores ácidos.

## Aula prática:

**- Avaliação da coerência de resultados num boletim de análise química de terra para fins de avaliação da fertilidade do solo.**

**1º. item a ser considerado: conferir cálculos:**

a) Soma de bases (SB ou S): **SB = K + Ca + Mg**

b) CTC efetiva (ao pH atual do solo): **CTC efetiva = SB + Al**

c) CTC total (a pH 7,0): **CTC = SB + (H+Al)**

d) Porcentagem de saturação por bases (V%):
**V% = SB x 100 / CTC (pH 7,0)**

e) Porcentagem de saturação por Alumínio (m%):
**m% = Al x 100/ CTC efetiva**

EXERCÍCIO – ***Calcular os parâmetros e completar a tabela***

| | Solo | | | |
|---|---|---|---|---|
| Parâmetro | 1 | 2 | 3 | 4 |
| K | 1,2 | 2,5 | 1,6 | 0,4 |
| Ca | 4,0 | _____ | 35,0 | 12,0 |
| Mg | 2,0 | 31,0 | 8,0 | _____ |
| Al | _____ | _____ | _____ | 25,0 |
| H+Al | _____ | _____ | 38,0 | ? |
| SB | 7,2 | _____ | _____ | 16,4 |
| CTC | 44,2 | 131,5 | _____ | _____ |
| V% | _____ | 83 | _____ | 20 |
| m% | 55 | 0 | 0 | _____ |

2º item: Comparar pH em água x pH $CaCl_2$ 0,01M

Regra geral: pH em água, principalmente na camada superficial (0-20cm), é normalmente maior do que pH em $CaCl_2$ **(diferença média de 0,5 a 0,6)**

3º item: Checar as relações pH x V% e pH x m%

– Observar tabela com valores médios – válida para amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm

pH em água > 5,6: alumínio na forma de $Al(OH)_3$

$Al^{3+}$ (forma tóxica) ↔ $Al(OH)_3$ (forma não tóxica)

**Relações aproximadas entre V %, pH em $CaCl_2$ 0,01 M e pH em água e m%, em amostras de terra da camada superficial (0-20 cm)**

| V% | pH ($CaCl_2$) | pH (água) | m% |
|---|---|---|---|
| 4 | 3,8 | 4,4 | 90 |
| 12 | 4,0 | 4,6 | 68 |
| 20 | 4,2 | 4,8 | 49 |
| 28 | 4,4 | 5,0 | 32 |
| 36 | 4,6 | 5,2 | 18 |
| 44 | 4,8 | 5,4 | 7 |
| 52 | 5,0 | 5,6 | 0 |
| 60 | 5,2 | 5,8 | 0 |
| 68 | 5,4 | 6,0 | 0 |
| 76 | 5,6 | 6,2 | 0 |
| 84 | 5,8 | 6,4 | 0 |
| 92 | 6,0 | 6,6 | 0 |
| 100 | 6,2 | 6,8 | 0 |

Fonte: Raij et al. (1985).

4º item: Checar a relação matéria orgânica x CTC

•Solos com alto teor de M.O. terão altos valores de CTC total (pH 7,0).

*Atenção*: um solo pode ter alta CTC e baixo teor de MO quando a argila for de alta atividade.

5º item: Normalmente, teor de Ca > Mg > K > Na

6º item: Teores dos nutrientes x profundidade

*Regra geral*: pH, M.O., P, K, Ca, Mg e CTC são, normalmente, maiores nas camadas superficiais, enquanto Al e $SO_4^{2-}$ são maiores nas camadas inferiores.

Atenção: Estas "regras" poderão sofrer desvios em função de condições específicas da área ou do manejo adotado. Ex: adubação

***Resumo: Coerência de resultados***

1º) Conferir os cálculos de SB, CTC e V%

2º) pH em água, na camada superficial (0-20 cm), normalmente, maior do que pH $CaCl_2$ 0,01 M (diferença de 0,5 a 0,6 unidade)

3º) Relações pH x V% e pH x m%(0-20 cm) – checar tabela

4º) Relação M.O. x CTC - tendência: aumentar a CTC (pH 7,0) com o aumento do teor de M.O.

5º) Normalmente, teor de Ca > Mg > K > Na

6º) Valores de pH, M.O., P, K, Ca, Mg e CTC são, normalmente, maiores nas camadas superficiais, enquanto teores de Al e $SO_4^{2-}$ são maiores nas camadas inferiores.

**Conjunto de resultados 1.**

| Am | pH | pH | MO | P | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | água | g $dm^{-3}$ | mg $dm^{-3}$ | | mmol$_c$ $dm^{-3}$ | | | | | | | % | |
| 1 | 4,5 | 5,2 | 22 | 3 | - | 0,2 | 14 | 6 | 2 | 32 | 20 | 52 | 39 | 9 |
| 2 | 5,2 | 4,8 | 7 | 9 | 5 | 0,6 | 4 | 2 | 7 | 29 | 7 | 36 | 19 | 0 |
| 3 | 6,0 | 6,5 | 5 | 7 | 16 | 4,1 | 21 | 85 | 0 | 14 | 110 | 124 | 89 | 0 |
| 4 | 3,8 | 4,3 | 17 | 21 | - | 0,3 | 2 | 1 | 35 | 45 | 3 | 48 | 6 | 92 |
| 5 | 4,5 | 5,2 | 33 | 7 | 4 | 2,0 | 67 | 2 | 10 | 9 | 71 | 8 | 89 | 12 |

**Avaliação do conjunto de Exercícios 1**

Amostra 1: - Al = 2 e m = 9 %: deveria ser 18 % pela tabela, mas a m % está baixa. Portanto, o solo não precisa ser reanalisado.

Amostra 2: - Cálculo de m % está errado. O correto seria 49 %.
- pH em $CaCl_2$ 0,01 M está errado, deveria ser 4,2, já que m = 49 %.

Amostra 3: - Mg >>>>>> Ca, o que é difícil de acontecer. Pode ter havido inversão na digitação.

Amostra 4: - sem problemas

Amostra 5: - Problema na relação pH x V%;
- Ca >>>>> Mg: pode acontecer, mas não é comum;
- cálculo errado da CTC, deveria ser 80;
- Al > H+Al (Al deveria ser zero).

**Conjunto de resultados 2.**

| Am | pH | pH | MO | P | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | água | g dm$^{-3}$ | mg dm$^{-3}$ | | mmol$_c$ dm$^{-3}$ | | | | | | | % | |
| 1A | 4,8 | 5,4 | 8 | 22 | 5 | 1,4 | 19 | 5 | 0 | 43 | 35 | 78 | 45 | 0 |
| 1B | 4,6 | 5,1 | 11 | 8 | 10 | 1,0 | 13 | 8 | 3 | 39 | 22 | 71 | 36 | 12 |
| 1C | 4,4 | 4,5 | 35 | 47 | 11 | 2,1 | 7 | 4 | 10 | 35 | 13 | 48 | 27 | 44 |
| 2 | 4,2 | 4,7 | 08 | 14 | - | 0,8 | 5 | 2 | 12 | 41 | 8 | 49 | 70 | 60 |
| 3 | 5,0 | 5,4 | 27 | 2 | 36 | 1,9 | 19 | 8 | 0 | 31 | 29 | 60 | 48 | 0 |

**Conjunto de resultados 3.**

| Am | pH | pH | MO | P | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | água | g dm$^{-3}$ | mg dm$^{-3}$ | | mmol$_c$ dm$^{-3}$ | | | | | | | % | |
| 1 | 4,8 | 5,4 | 60 | 45 | 12 | 1,4 | 8 | 2 | 2 | 17 | 11 | 28 | 39 | 15 |
| 2 | 2,9 | 5,6 | 15 | 2 | 3 | 1,0 | 30 | 6 | 0 | 35 | 37 | 72 | 51 | 0 |
| 3 | 6,0 | 6,4 | 29 | 25 | 42 | 2,3 | 70 | 23 | 0 | 10 | 95 | 105 | 91 | 0 |
| 4A | 5,2 | 5,6 | 21 | 18 | 3 | 2,3 | 30 | 11 | 0 | 28 | 43 | 71 | 61 | 0 |
| 4B | 5,0 | 5,5 | 17 | 5 | 2 | 1,9 | 25 | 7 | 0 | 31 | 34 | 65 | 52 | 0 |

**Conjunto de resultados 4.**

| Am | pH | pH | MO | P | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | água | g dm$^{-3}$ | mg dm$^{-3}$ | | mmol$_c$ dm$^{-3}$ | | | | | | | % | |
| 1A | 4,8 | 5,8 | 32 | 25 | 5 | 2,5 | 38 | 9 | 0 | 22 | 50 | 72 | 70 | 0 |
| 1B | 5,2 | 5,7 | 28 | 18 | 16 | 1,9 | 30 | 7 | 0 | 26 | 39 | 65 | 60 | 0 |
| 1C | 4,4 | 4,9 | 8 | 2 | 12 | 0,5 | 10 | 4 | 6 | 26 | 15 | 41 | 37 | 29 |
| 1D | 4,8 | 5,2 | 14 | 9 | 18 | 1,2 | 18 | 4 | 3 | 22 | 23 | 45 | 51 | 12 |
| 2 | 3,9 | 4,5 | 14 | 8 | - | 0,5 | 5 | 1 | 0 | 49 | 7 | 56 | 13 | 0 |

**Conjunto de resultados 5.**

| Am | pH | pH | MO | P | S | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | água | g dm$^{-3}$ | mg dm$^{-3}$ | | mmol$_c$ dm$^{-3}$ | | | | | | | % | |
| 1A | 6,0 | 5,2 | 23 | 14 | 42 | 5,2 | 50 | 12 | 0 | 7 | 67 | 74 | 91 | 0 |
| 1B | 4,8 | 5,2 | 12 | 4 | 12 | 2,5 | 18 | 8 | 4 | 36 | 29 | 65 | 45 | 12 |
| 2 | 6,0 | 5,4 | 29 | 37 | 5 | 0,9 | 17 | 10 | 8 | 60 | 28 | 88 | 32 | 22 |
| 3 | 5,4 | 6,1 | 9 | 342 | 11 | 0,4 | 80 | 20 | 0 | 54 | 100 | 154 | 65 | 0 |
| 4 | 4,8 | 5,4 | 26 | 45 | 5 | 5,2 | 25 | 14 | 1 | 48 | 44 | 92 | 48 | 2 |

***Gabarito dos demais e exercícios de conferência de resultados de análise química de terra***

**CONJUNTO DE EXERCÍCIOS 2**

Amostra 1A: Cálculo errado da soma de bases, da CTC e da V%.

Amostra 1B: Cálculo da CTC está errado.

Amostra 1C: Teor de M.O. aumentou em profundidade: variação estranha no teor de fósforo.

Amostra 2: Cálculo da V % está errado

**CONJUNTO DE EXERCÍCIOS 3**

Amostra 1: Teor de M.O. está um pouco alto: deveria ser 6 e não 60.

Amostra 2: pH em $CaCl_2$ deve estar errado.

Amostra 4A e 4B: Teores de enxofre praticamente constantes: normalmente deveria ser maior na camada subsuperficial.

**CONJUNTO DE EXERCÍCIOS 4**

Amostra 1: Relação M.O. x CTC não está correta na 1A e 1B (CTC deveria ser maior); amostra 1C deve estar invertida com 1D.

Amostra 2: Teor de Al muito baixo.

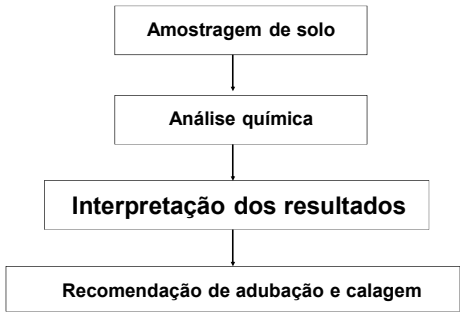
**CONJUNTO DE EXERCÍCIOS 5**

Amostra 1: Teor de enxofre diminuiu em profundidade; pH em água está errado.

Amostra 2: pH em $CaCl_2$ está muito alto.

Amostra 3: Teor de P muito alto.

## INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA DE TERRA




**Interpretação dos resultados da análise de solo**

- **Estabelecimento de classes de teores, por meio de numerosos resultados de experimentos de campo.**

- **Em São Paulo: teores de P e K no solo foram correlacionados com a produção relativa (PR) de diferentes culturas e sob diferentes condições de clima, solo, manejo etc.**

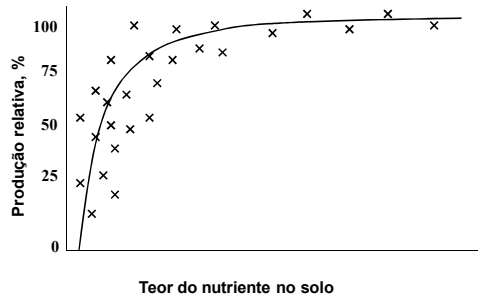
$$PR = \frac{\text{Produção com adubação completa menos nutriente}}{\text{Produção com adubação completa}} \times 100$$

- Utilizando-se a produção relativa é possível juntar resultados obtidos com diferentes culturas e sob diferentes condições de clima, solo, manejo etc.

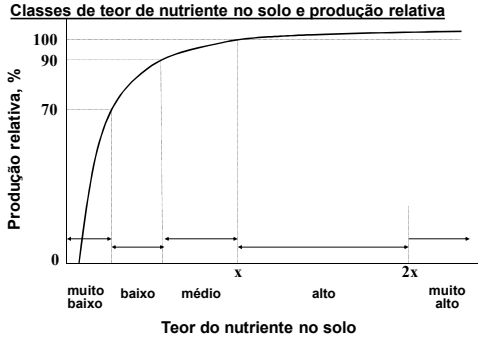
**Produção relativa (PR)**

$$PR = \frac{\text{Prod. com adubação completa menos nutriente}}{\text{Produção com adubação completa}} \times 100$$

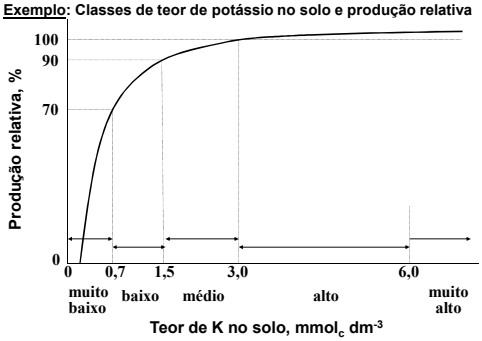
| Local | PRODUÇÃO DE MILHO | | PRODUÇÃO RELATIVA |
|---|---|---|---|
| | Sem adição K | Adubação completa | |
| | ---------- *kg ha$^{-1}$* ---------- | | *%* |
| **Adamantina** | **3.400** | **4.200** | ____ |
| **Itapeva** | **1.500** | **3.000** | ____ |
| **Guaíra** | **7.300** | **6.500** | ____ |




**Classes de teor de nutriente no solo e produção relativa**



**Exemplo: Classes de teor de potássio no solo e produção relativa**




**Limites de interpretação dos teores de potássio e fósforo no solo**

| Teor | Produção relativa | K trocável | P resina | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Florest. | Perenes | Anuais | Hortaliças |
| | % | mmol$_c$ dm$^{-3}$ | mg dm$^{-3}$ | | | |
| M. baixo | 0-70 | 0-0,7 | 0-2 | 0-5 | 0-6 | 0-10 |
| Baixo | 71-90 | 0,8-1,5 | 3-5 | 6-12 | 7-15 | 11-25 |
| Médio | 91-100 | 1,6-3,0 | 6-8 | 13-30 | 16-40 | 26-60 |
| Alto | >100 | 3,1-6,0 | 9-16 | 31-60 | 41-80 | 61-120 |
| M. alto | >100 | >6,0 | >16 | >60 | >80 | >120 |

**Classes de acidez e saturação por bases**

| Acidez | pH ($CaCl_2$ 0,01 M) | Saturação por bases | V% |
|---|---|---|---|
| Muito alta | até 4,3 | Muito baixa | 0 - 25 |
| Alta | 4,4 - 5,0 | Baixa | 26 - 50 |
| Média | 5,1 - 5,5 | Média | 51 - 70 |
| Baixa | 5,6 - 6,0 | Alta | 71 - 90 |
| Muito baixa | > 6,0 | Muito alta | > 90 |

**Classes dos teores de cálcio, magnésio e enxofre no solo**

| Teor | Ca | Mg | $S\text{-}SO_4$ |
|---|---|---|---|
| | $mmol_c\ dm^{-3}$ | $mmol_c\ dm^{-3}$ | $mg\ dm^{-3}$ |
| Baixo | 0-3 | 0-4 | 0-4 |
| Médio | 4-7 | 5-8 | 5-10 |
| Alto | >7 | >8 | >10 |

**Com base nos resultados do boletim de análise de terra da tabela abaixo, obtenha as classes de acidez e V% e dos teores de K, P (para eucalipto e milho), Ca, Mg e S.**

| Solo | pH | M.O. | P | $S\text{-}SO_4$ | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | $g\ dm^{-3}$ | ----$mg\ dm^{-3}$---- | | ----------$mmol_c\ dm^{-3}$---------- | | | | | | | ----%--- | |
| **BVe/arg/c** | 4,9 | 64 | 62 | 92 | 13,2 | 106 | 30 | 1 | 58 | 149 | 207 | 72 | 1 |
| **PVa/arg/c** | 3,5 | 20 | 11 | 106 | 1,9 | 25 | 8 | 13 | 135 | 35 | 170 | 21 | 27 |
| **LRd/arg/c** | 5,1 | 20 | 19 | 185 | 2,4 | 45 | 8 | 0 | 34 | 55 | 89 | 62 | 0 |
| **PVa/arg/m** | 3,4 | 28 | 9 | 105 | 3,9 | 18 | 6 | 14 | 121 | 28 | 149 | 19 | 33 |
| **TEe/arg/m** | 6,1 | 33 | 24 | 49 | 4,4 | 82 | 17 | 0 | 16 | 103 | 119 | 87 | 0 |

# ESALQ/USP - QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO

## Resposta do milho à calagem e à aplicação de macronutrientes em cinco solos da região de Piracicaba

**Descrição do experimento:** Amostras da camada de 0-20 cm de cinco solos da região de Piracicaba foram acondicionadas em vasos de 3,0 kg e submetidas a dois tratamentos: sem insumos (condição natural) e com insumos (calcário + adubação NPK + Ca, Mg e $SO_4$). Os solos foram incubados com o calcário por 15 dias para que ocorresse correção da acidez. Em seguida, os adubos foram aplicados e plantas de milho (quatro por vaso) cultivadas por 45 dias. Após este período, a parte aérea foi colhida, seca em estufa e pesada para se obter a produção de matéria seca. Amostras de terra de cada vaso foram coletadas antes da aplicação dos insumos e após a colheita das plantas.

**Exercícios:** em grupos de três ou quatro alunos, façam os exercícios relacionados a seguir, obedecendo a seqüência em que estão colocados.

1. A Tabela 1 apresenta os resultados de produção de matéria seca das plantas de milho quando não foram aplicados os insumos. Espera-se que a aplicação dos insumos tenha propiciado aumento de produção de matéria seca em todos os solos? Porquê?

**Tabela 1 –** Produção de matéria seca de plantas de milho cultivadas em cinco solos da região de Piracicaba (média de três repetições)

| **Solo** | **Produção** |
|---|---|
| | g/vaso |
| Chernossolo | 7,8 |
| Cambissolo Háplico | 10,5 |
| Nitossolo Vermelho | 2,7 |
| Latossolo Vermelho | 1,5 |
| Neossolo Quartzarênico | 0,7 |

2. Faça uma estimativa do efeito dos insumos na produção de matéria seca das plantas nos diferentes solos, classificando-os em ordem decrescente quanto ao aumento esperado de produção de matéria seca após aplicação dos insumos.

3. Compare a sua classificação com os resultados obtidos no experimento (Tabela 2). Houve muita diferença entre o esperado e o obtido? Explique.

4. Por que a produção do Cambissolo Háplico (Tabela 2), que era a mais alta sem a aplicação dos insumos, deixou de ser quando os insumos foram aplicados?

**Tabela 2 -** Produção de matéria seca de milho cultivado por 45 diasem solos tratados com calcário e macronutrientes, e incremento de produção em resposta aos insumos (médias de três repetições).

| Solo | Sem insumos (A) | Com insumos (B) | Incremento (B/A) |
|---|---|---|---|
| | ---------- g ---------- | | |
| Neossolo Quartzarênico | 0,7 | 10,5 | 15 |
| Latossolo Vermelho | 1,5 | 18,0 | 12 |
| Nitossolo Vermelho | 2,7 | 13,5 | 5 |
| Chernossolo | 7,8 | 31,2 | 4 |
| Cambissolo Háplico | 10,5 | 21,0 | 2 |

5.Com base nas características dos solos não adubados (Tabela 3), divida os valores em classes de acidez, saturação por bases (V%) e teores de P, K, Ca, Mg e S.

6. Baseando-se nas características dos solos corrigidos e adubados (Tabela 4) e nos limites de interpretação dos teores de nutrientes em solos, qual ou quais atributos mais limitaram a produção de matéria seca de milho? Por quê?

7.Uma vez que as quantidades de insumos aplicadas foram iguais para todos os solos, não seria esperado que os valores de produção de milho nos cinco solos corrigidos e adubados fossem semelhantes? Por quê?

8.Comparando as características dos solos não adubados (Tabela 3) com a dos solos adubados e cultivados com milho (Tabela 4), como explicar a variação dos teores de P ter sido diferente da variação dos teores de K?

9.Por ocasião da colheita do milho, os teores de alumínio trocável dos solos se tornaram iguais a zero (Tabela 4). Explique quimicamente o que ocorreu.

10.Que medidas podem ser tomadas para que o Neossolo Quartzarênico produza mais matéria seca?

11. A dose única de calcário dolomítico foi adequada para todos os solos? Porquê?

12.As doses de N, P e K aplicadas foram fixas e independeram do solo. Foi correto aplicar a mesma quantidade de adubo em todos os solos? Explique.

Tabela 3 – Propriedades químicas dos solos utilizados nos experimento

| **Solo** | **pH $CaCl_2$** | **M.O.** | **P** | **$SO_4$** | **K** | **Ca** | **Mg** | **Al** | **H + Al** | **SB** | **CTC** | **V** | **m** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | g $dm^{-3}$ | mg $dm^{-3}$ | | ----------$mmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | ---%--- | |
| Chernossolo | 4,9 | 64 | 62 | 92 | 13,2 | 106 | 30 | 1 | 58 | 149 | 207 | 72 | 1 |
| Cambissolo Háplico | 4,9 | 37 | 163 | 48 | 7,0 | 80 | 11 | 1 | 58 | 98 | 156 | 63 | 1 |
| Nitossolo Vermelho | 6,1 | 33 | 24 | 49 | 4,4 | 82 | 17 | 0 | 16 | 103 | 119 | 87 | 0 |
| Latossolo Vermelho | 4,9 | 22 | 19 | 32 | 3,4 | 40 | 16 | 1 | 42 | 59 | 101 | 59 | 2 |
| Neossolo Quartzarênico | 3,6 | 11 | 4 | 15 | 0,3 | 4 | 1 | 12 | 25 | 5 | 30 | 17 | 69 |

Tabela 4 – Propriedades químicas dos solos após aplicação dos insumos e após a colheita das plantas de milho

| **Solo** | **pH $CaCl_2$** | **M.O.** | **P** | **$SO_4$** | **K** | **Ca** | **Mg** | **Al** | **H + Al** | **SB** | **CTC** | **V** | **m** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | g $dm^{-3}$ | mg $dm^{-3}$ | | ----------$mmol_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | ---%--- | |
| Chernossolo | 5,5 | 52 | 126 | 107 | 3,6 | 100 | 40 | 0 | 25 | 144 | 169 | 85 | 0 |
| Cambissolo Háplico | 5,5 | 37 | 166 | 48 | 4,5 | 92 | 25 | 0 | 31 | 122 | 153 | 80 | 0 |
| Nitossolo Vermelho | 6,8 | 31 | 89 | 78 | 1,1 | 93 | 25 | 0 | 10 | 119 | 129 | 92 | 0 |
| Latossolo Vermelho | 6,1 | 20 | 68 | 45 | 1,2 | 55 | 20 | 0 | 18 | 76 | 94 | 81 | 0 |
| Neossolo Quartzarênico | 5,9 | 11 | 56 | 59 | 0,8 | 20 | 5 | 0 | 10 | 25 | 35 | 71 | 0 |

# Interpretação de classes de teores de elementos no solo

| Teor | Produção relativa | K trocável | P resina | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Florest. | Perenes | Anuais | Hortaliças |
| | % | $mmol_c\ dm^{-3}$ | ---------- $mg\ dm^{-3}$ ---------- | | | |
| M. baixo | 0-70 | 0-0,7 | 0-2 | 0-5 | 0-6 | 0-10 |
| Baixo | 71-90 | 0,8-1,5 | 3-5 | 6-12 | 7-15 | 11-25 |
| Médio | 91-100 | 1,6-3,0 | 6-8 | 13-30 | 16-40 | 26-60 |
| Alto | >100 | 3,1-6,0 | 9-16 | 31-60 | 41-80 | 61-120 |
| M. alto | >100 | >6,0 | >16 | >60 | >80 | >120 |

***Fonte: Raij et al. (1996)***

| Acidez | pH ($CaCl_2$ 0,01 M) | Saturação por bases | V% |
|---|---|---|---|
| Muito alta | até 4,3 | Muito baixa | 0 - 25 |
| Alta | 4,4 - 5,0 | Baixa | 26 - 50 |
| Média | 5,1 - 5,5 | Média | 51 - 70 |
| Baixa | 5,6 - 6,0 | Alta | 71 - 90 |
| Muito baixa | > 6,0 | Muito alta | > 90 |

***Fonte: Raij et al. (1996)***

| Teor | Ca | Mg | $S\text{-}SO_4$ |
|---|---|---|---|
| | $mmol_c\ dm^{-3}$ | $mmol_c\ dm^{-3}$ | $mg\ dm^{-3}$ |
| Baixo | 0-3 | 0-4 | 0-4 |
| Médio | 4-7 | 5-8 | 5-10 |
| Alto | >7 | >8 | >10 |

***Fonte: Raij et al. (1985) eRaij et al. (1996)***

# ESALQ/USP - QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO

## Resposta do milho à aplicação de calcário e N, P, K em diferentes combinações

**Descrição do experimento:** Foram utilizadas amostras da camada de 0-20 cm de três solos da região de Piracicaba, descritos na Tabela 1. Após terem sido preparadas, as amostras foram acondicionadas, em triplicata, em vasos de 3 kg e submetidas aos seguintes tratamentos:

1 – Controle (sem calcário e sem adubo);
2 – Completo (calcário + NPK);
3 - Completo menos calcário (+ NPK);
4 - Completo menosNPK (+ calcário);
5 - Completo menosN (calcário + PK);
6 - Completo menosP (calcário + NK);
7 - Completo menosK (calcário + NP).

Inicialmente, as amostras foram incubadas com calcário por 15 dias para elevar a V% a 70% e corrigir a acidez. Em seguida, os adubos foram aplicados e 3 plantas de milho foram cultivadas por vaso por 30 dias. A parte aérea foi colhida, seca e pesada para se obter a produção de matéria seca de cada vaso.

**Exercícios**

1. Baseando-se nas propriedades químicas dos solos (Tabela 1) **e sem consultar a Tabela 2**, classifiquem os solos em ordem decrescente quanto à expectativa de aumento de produção de matéria seca do milho após aplicação do tratamento 2 - Completo (+ NPK + calcário); do tratamento 3 - Completo menos calcário (+ NPK); e dotratamento 4 - Completo menosNPK (+ calcário). Expliquem porque escolheram essa ordem.

Tabela 1. Propriedades químicas dos solos do experimento, antes da aplicação dos insumos.

| Solo | pH | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CaCl_2$ | MO | P | $SO_4$ | K | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | CTC | V | m |
| | | g $dm^{-3}$ | mg $dm^{-3}$ | | ----------mmol$_c$ $dm^{-3}$---------- | | | | | | | ---%--- | |
| LVAd | 4,2 | 23 | 6 | 32 | 0,9 | 29 | 5 | 8 | 58 | 35 | 93 | 38 | 19 |
| Chernossolo | 4,9 | 64 | 62 | 92 | 13,2 | 106 | 30 | 1 | 58 | 149 | 207 | 72 | 1 |
| NQ | 3,6 | 11 | 4 | 15 | 0,3 | 4 | 1 | 12 | 25 | 5 | 30 | 17 | 71 |

LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; NQ – Neossolo Quartzarênico.

Observem na tabela 2 a produção de matéria seca de milho após a aplicação dos insumos.

Tabela 2. Produção de matéria seca de milho, 30 dias após a aplicação dos insumos (média de três repetições).

| Tratamento | LVAd | Chernossolo | NQ |
|---|---|---|---|
| | ----------g---------- | | |
| 1 – Controle; | 1,1 | 4,6 | 0,3 |
| 2 – Completo (+ NPK + calcário) | 13,1 | 13,1 | 5,4 |
| 3 - Completo menos calcário (+ NPK); | 9,2 | 12,0 | 4,2 |
| 4 - Completo menos NPK (+ calcário); | 0,9 | 5,3 | 0,3 |
| 5 - Completo menos N (+ PK + calcário); | 1,7 | 9,1 | 0,6 |
| 6 - Completo menos P (+ NK + calcário); | 1,4 | 6,4 | 0,7 |
| 7 - Completo menos K (+ NP + calcário). | 6,9 | 14,9 | 0,6 |

LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; NQ – Neossolo Quartzarênico.

2. Comparem as expectativas indicadas na questão anterior com os resultados obtidos no experimento (Tabela 2). Houve divergências? Quais foram? Calculem, para cada solo, quantas vezes a produção de matéria seca aumentou após aplicação de cada um dos tratamentos indicados (Tratamentos 2, 3 e 4).

3. Citem, **para cada solo,** os insumos que mais devem ter limitado a produção de matéria seca, em ordem decrescente (considerem insumos somente N, P, K e calcário, e não as combinações deles).

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ**

**Departamento de Ciência do Solo**

**LSO – 0300 Química e Fertilidade do Solo**

# Questões de aulas práticas

## Extração dos teores de P, Ca, Mg e K pela resina

1. Qual a constituição da solução ácida de Mehlich-I e ordem de solubilidade de fosfatos por extratores ácidos?
2. Por que os extratores ácidos podem não ser a melhor opção para extrair o teor de fósforo em solos da região tropical úmida?
3. Defina Resina Trocadora de Íons e qual o princípio de sua ação na extração de P, Ca, Mg e K
4. Explique por que a resina foi escolhida como método oficial para extração de fósforo no estado de São Paulo no lugar de extratores ácidos.
5. Como é possível extrair simultaneamente os teores de P, Ca, Mg e K do solo pelo método da Resina Trocadora de Íons?
6. Após a extração com a Resina, quais os métodos empregados para a determinação dos teores de P, K, Ca e Mg nos extratos? Dica: responda com base nos equipamentos utilizados para cada elemento.

## pH da solução do solo

1. Qual a definição de pH?
2. É correto afirmar que a disponibilidade de todos os nutrientes aumenta com o aumento do pH? Explique sua resposta.
3. Qual a diferença entre atividade e concentração de $H^+$? Qual delas realmente expressa o valor de pH da solução do solo?
4. A atividade de um íon em solução tende a ser igual à sua concentração em soluções mais diluídas ou mais concentradas? Explique sua resposta.
5. Quando o pH de um solo é corrigido de 4 para 6, quantas vezes a atividade de H+ diminuiu?
6. Por que, quando se usa uma solução salina, o pH é menor do que quando se mede o pH em água num solo com balanço negativo de cargas?
7. Quais as vantagens de se usar o pH em $CaCl_2$ 0,01 mol/Lem relação ao pH em água?

8. Por que se faz a leitura do pH do solo em solução de KCl 1M
9. Qual a relação entre acidez do solo e a saturação por bases?
10. O que são acidez ativa, acidez trocável e acidez não trocável?
11. O Al está sempre presente no solo na forma tóxica? Se não, em quais condições ele é tóxico e não tóxico para as plantas? Relacione com o pH da solução do solo.
12. Calcule o ΔpH dos seguintes solos e explique as diferenças entre os valores de pH. Qual solo foi, provavelmente, coletado na camada subsuperficial? Por quê? Por que no solo B o valor do pH em KCl 1M foi maior do que o pH em água?
13. Relacione um valor positivo de ΔpH com o grau de intemperismo do solo, teores de matéria orgânica e de óxidos de Fe e de Al?
14. Qual a classificação da acidez e da saturação por bases de um solo com pH 4,7 e V% = 32? E um solo com pH 5,8 e V% = 75? (veja quadro apresentado em aula prática).
15. Na sala de aula medimos o pH de seis amostras de solo. Somente com esses valores é possível estimar qual dos solos precisaria de maior dose de calcário para correção de acidez? (dica: relacione sua resposta com poder tampão do solo).

**Determinação do teor de carbono do solo**

1. Na sala de aula medimos o pH de seis amostras de solo. Somente com esses valores é possível estimar qual dos solos precisaria de maior dose de calcário para correção de acidez? (dica: relacione sua resposta com poder tampão do solo).
2. Quais os principais métodos destrutivos de determinação do C do solo? Qual é o mais comumente utilizado?
3. Qual o princípio da obtenção do teor de carbono no solo pelo método do dicromato de potássio? Qual a função do dicromato na extração do teor de C do solo?
4. Quais os números de oxidação do Cr e do C nos dois lados da reação de digestão de uma amostra de solo com dicromato de potássio?
5. Como estimar o teor de matéria orgânica do solo a partir do teor de C? Qual o fundamento envolvido neste cálculo?
6. Qual a relação entre a quantidade consumida de sulfato ferroso amoniacal, quantidade de Cr (VI)na amostra de solo, quantidade de C oxidável na amostra e teor de MO?
7. Durante a determinação do teor de C do solo, uma amostra X consumiu em sua titulação 26 mL de sulfato ferroso amoniacal, enquanto uma amostra Y consumiu 12 mL do titulante. Qual das amostras apresenta maior teor de C orgânico? Explique sua resposta.
8. Como se calcula o estoque de carbono numa camada de 0-20 cm de solo?

9. Com base nos resultados da tabela abaixo de uma floresta nativa, de uma pastagem e de uma área de cana-de-açúcar, calcule os estoques de C do solo (camada de 0-20 cm).

**Acidez potencial**

1. Com base nos resultados da tabela abaixo de uma floresta nativa, de uma pastagem e de uma área de cana-de-açúcar, calcule os estoques de C do solo (camada de 0-20 cm).
2. Quais são as formas de acidez do solo?
3. Diferencie acidez trocável de acidez não-trocável.
4. Por que consideramos que o solo se comporta com um "ácido fraco"?
5. O ácido acético é forte ou fraco? Qual o ânion formado na dissociação do ácido acético?
6. Explique o princípio de ação do acetato de cálcio para obtenção do H+Al. Contemple o termo "dissociação" na sua resposta.
7. Por que o método do tampão SMP é considerado um método indireto de obtenção da acidez potencial?
8. O solo X apresentou pH-SMP = 6,5, enquanto o solo Y apresentou pH-SMP = 6,0. Qual desses solos apresenta maior H+Al? Explique.

**Análise química de solo: atributos calculados e produção relativa**

1. Por que se emprega a $CTC_{total}$ no cálculo da porcentagem de saturação por bases (V%) e no cálculo da porcentagem de saturação por alumínio (m%) se utiliza a $CTC_{efetiva}$?
2. Por que o alumínio não entra na "soma de bases"?
3. Calcule a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%) dos seguintes solos:

   Solo 1: K = 2,6; Ca = 34; Mg = 21; Al = 3; H + Al = 52 $mmol_c\ dm^{-3}$ e

   Solo 2: K = 0,3; Ca = 4; Mg = 1,2; Al = 12; H + Al = 23 $mmol_c\ dm^{-3.}$
4. Defina produção relativa. Por que os valores são dados em porcentagem?
5. Com base na tabela abaixo, calcule a produção relativa (PR) de milho associada ao potássio nos três locais. Interprete os resultados.

| Local | Produção de milho | |
|---|---|---|
| | Sem adição de K | Com adição de K |
| | kg $ha^{-1}$ | |
| Sete Lagoas | 5.000 | 6.000 |
| Paraopeba | 3.000 | 5.500 |
| Viçosa | 6.000 | 5.000 |

6. Como a “Produção Relativa” (PR) é utilizada para definição de classes de teores de P e K nos solos?
7. Como foi obtida a classe de teor “baixo” de K e de P nos solos?
8. Um teor de K ou de P no solo correspondente a 100 % de PR separa quais classes de teores? E se PR = 90 %? E se PR = 70 %?
9. Como é obtida a classe de teor “muito alto” de K e de P nos solos?
10. Um teor no solo correspondente a 90 % de PR separa quais classes de teores?
11. Como se chega à classe de teor “médio” para K e P no solo?

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ**

**Departamento de Ciência do Solo**

**LSO – 0300 Química e Fertilidade do Solo**

**Respostas - questões de aulas práticas**

## Extração dos teores de P, Ca, Mg e K pela resina

1. A solução de Mehlich-I é constituída pelos ácidos sulfúrico ($H_2SO_4$ 0,0125 mol $L^{-1}$) + ácido clorídrico (HCl 0,05 mol $L^{-1}$). Esta mistura dupla ácida permite a solubilização dos compostos fosfatados de fraca energia (disponível e também uma fração da porção lábil), sendo maior para fosfatos de cálcio, seguida por fosfatos ligados a Al e Fe.
2. Os solos da região tropical úmida tendem a ter teores mais elevados de óxidos de Fe e de Al. Como os extratores ácidos tem a capacidade de extrair o fosfato ligado a essas frações, é possível ocorrer uma superestimativa do teor de P disponível.
3. As resinas são polímeros com cargas elétricas em sua superfície. Essas cargas estão ocupadas por íons conhecidos (cloreto e amônio, por exemplo) o que permite a troca com os teores disponíveis de alguns íons da solução do solo. A troca contínua cria um gradiente de concentração que força a saída dos íons adsorvidos na superfície dos coloides do solo até que seja alcançado um equilíbrio entre o solo e a resina trocadora de íons.
4. Acredita-se que o mecanismo de ação da resina é o que mais se assemelha à ação das raízes das plantas. Além disso, a resina não provoca a dissolução de constituintes do solo (precipitados de fósforo ligado a Ca, Al e Fe, por exemplo), o que evita a superestimativa do teor disponível de P. Outro aspecto levado em conta é a praticidade laboratorial, pois com apenas uma marcha analítica é possível extrair teores de quatro elementos, o que favorece a logística dos laboratórios de rotina e diminui o impacto ambiental causado pelo uso de ácidos.
5. São utilizados dois tipos de resina ao mesmo tempo: a trocadora de ânions e a trocadora de cátions. A resina trocadora de ânions é carregada positivamente, o que favorece a ligação eletrostática com ânions, como o fosfato. A resina trocadora de cátions apresenta carga negativa em superfície, o que favorece a retenção de cátions, como o Ca, Mg, K e Na.
6. O P extraído é determinado por colorimetria, utilizando espectrofotômetro que fará a leitura da absorbância da solução obtida a partir da mistura do extrato da resina + molibdato de amônio + ácido ascórbico. Esta mistura apresenta coloração azul, e é justamente a intensidade do azul que é relacionada com o teor de P a partir de uma curva de calibração. O Ca e Mg podem ser diretamente determinados no espectrofotômetro de absorção atômica ou por titulação com um agente complexante. O K é determinado diretamente no fotômetro de chama.

## pH da solução do solo

1. Representa o potencial hidrogeniônico, ou seja, o inverso do logaritmo da atividade do íon $H^+$ em solução.
2. Não, pois pode ocorrer indisponibilização de alguns nutrientes como os micronutrientes catiônicos (Fe, Cu, Mn e Zn).

3. A atividade representa a concentração efetiva, levando-se em conta o efeito da concentração de outros cátions presentes na solução enquanto a concentração é o teor do íon sem considerar o efeito da competição com outros íons de mesma carga. Utilizamos a medida da atividade do $H^+$ para cálculo do pH da solução do solo.
4. A atividade de um íon leva em consideração a presença de outros íons em solução, ou força iônica da solução. Em soluções concentradas, a atividade tende a ser muito menor do que sua concentração, pois a força iônica é alta. No caso oposto, em soluções diluídas, a força iônica é baixa, e a atividade tende a ser igual à concentração.
5. 100 vezes.
6. Porque utilizando uma solução salina há aumento da força iônica da solução, o que diminui a atividade do $H^+$ em solução. Para reestabelecer o equilíbrio, os $H^+$ adsorvidos são liberados para a solução e após o equilíbrio, o valor de pH fica mais baixo do que quando se utiliza água.
7. A solução de $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ apresenta força iônica mais próxima à naturalmente encontrada na solução do solo e a correlação entre pH em $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ e produção das culturas foi melhor do que a correlação com o pH em água. Além disso, a leitura de pH estabiliza mais rapidamente quando a determinação é feita em $CaCl_2$, o que garante economia de tempo em laboratórios de análise química de solo
8. Esse tipo de análise é feita para fins de classificação. A partir da diferença entre os valores de pH em KCl e em água é possível estimar o ΔpH, um valor que permite inferir sobre o balanço de cargas do solo.
9. A saturação por bases representa quanto da CTC do solo é ocupada por bases de interesse ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $K^+$), sendo o restante da CTC ocupada por íons envolvidos na acidez do solo ($H^+$ e o $Al^{3+}$). Desta forma, quanto maior a acidez de um solo, menor será sua saturação por bases.
10. Acidez ativa representa a atividade do íon $H^+$ em solução (pH); a acidez trocável é o $Al^{3+}$ adsorvido nos coloides; enquanto a não trocável é o teor de H+Al retidos no coloide do solo mas com potencial para se deslocarem para a solução e gerarem acidez.
11. Não, o Al só é tóxico para as plantas quando se encontra na forma do íon $Al^{3+}$. A forma do Al variam em função do pH. Em valores abaixo de 5,5 (pH em CaCl), o alumínio se encontra na sua forma tóxica, a partir desse valor, ocorre favorecimento da reação de hidrólise, que gera hidróxido de Al ($Al(OH)_3$), uma forma não tóxica.
12. Solo A: $pH_{H2O}$ = 4,0 e pH $_{KCl\ 1M}$ = 3,4

    Solo B: $pH_{H2O}$= 4,0 e pH $_{KCl\ M}$ = 4,

    Solo A: ΔpH = -0,6 e Solo B: ΔpH = 0,8

    O solo B provavelmente foi coletado na camada subsuperficial, porque o ΔpH positivo é um indicador de que o balanço de carga é positivo, e isso é mais provável de ocorrer nas camadas subsuperficiais, onde a influência dos óxidos de Fe e Al é maior e a da matéria orgânica é menor. Nesse tipo de solo (balanço positivo das cargas), o aumento da força iônica da solução (promovida pela adição de KCl 1 mol $L^{-1}$) causa a adsorção de $H^+$ nos sítios de troca dos coloides, diminuindo a atividade do H+ em solução, e consequente aumento do pH em comparação com o pH em água.

13. Valores positivos de ΔpH se correlacionam com solos nos últimos estágios de intemperismo, onde os óxidos de Fe e Al são os constituintes mais importantes da fração argila. Estes coloides apresentam altos valores de PCZ e balanço positivo de cargas em valores de pH abaixo de 7. No entanto, os óxidos só terão maior expressão no balanço de cargas de um solo quando a matéria orgânica ocorre em baixos teores, pois a MO tem PCZ muito baixo e é a principal fonte de carga negativa do solo. Sendo assim, um ΔpH positivo é a consequência de um solo muito intemperizado, com altos teores de óxidos e baixos teores de MO.

14. Acidez alta e saturação por bases baixa
    Acidez baixa e saturação por bases alta
15. Não, pois o pH representa os íons H+ em solução, e esta é apenas uma pequena fração do H+ com potencial para causar acidez. Assim, um bom indicador para estimar o poder tampão do solo é a observação dos teores de H+Al, a acidez potencial do solo, pois estes íons, em caso de aumento do pH, podem ser deslocados para solução na tentativa de manter o equilíbrio entre a fase sólida e líquida do solo. Além disso, o cálculo da dose de calcário a ser aplicada é feita com base nos valores V%, ou seja, uma estimativa de quanto da CTC total está ocupada por cátions básicos de interesse.

**Determinação do teor de carbono do solo**

1. Os principais métodos são via úmida e via seca. O mais utilizado é a determinação pela via úmida.

2. Oxidação do carbono na forma orgânica pelo íon dicromato em meio ácido e determinação do material facilmente oxidável. A função do dicromato é atuar coo receptor de elétrons advindos da transformação das formas oxidáveis do C em $CO_2$.

3. Equação: $2\ Cr_2O_7^{-2} + 3\ C + 16\ H^+ \rightarrow 4\ Cr^{+3} + 3\ CO_2 + 8\ H_2O$

   Lado esquerdo: C=0; Cr=+6

   Lado direito: C = +4; Cr=+3

4. Multiplicar o teor de C por 1,72. O ácido húmico, que é a fração mais reativa da matéria orgânica, tem 58% de Ca. Assim, esse fator de conversão se dá pela seguinte razão 100/58=1,72.

5. É uma relação inversa: quanto mais sulfato ferroso amoniacal consumido maior a quantidade de dicromato excedente. Consequentemente, menor a quantidade de C oxidável da amostra e menor o teor de MO.

6. A amostra y possui maior teor de C orgânico. O sulfato ferroso amoniacal consome o dicromato excedente da oxidação do C orgânico. Dessa forma, quanto menor a quantidade de sulfato ferroso amoniacal consumida, maior terá sido a quantidade de C oxidado presente na amostra.

7. Multiplicando o teor de C da camada pela densidade e pela espessura da camada.

8.

| Área | Densidade do solo (g $cm^{-3}$) | Teor de C (g $kg^{-1}$) |
|---|---|---|
| Floresta nativa | 1,1 | 47,8 |
| Pastagem | 1,3 | 23,2 |
| Cana-de-açúcar | 1,2 | 16,4 |

Para floresta nativa: Estoque de C = (4,78 x 1,1 x 20)/10 = 10,6 t $ha^{-1}$

Para pastagem: Estoque de C = (2,23 x 1,3 x 20)/10 = 6,0 t $ha^{-1}$

Para cana-de-açúcar: Estoque de C = (1,64 x 1,2 x 20)/10 = 3,9 t $ha^{-1}$

**Acidez potencial**

1. Acidez ativa, acidez trocável e acidez potencial.
2. A acidez trocável se refere ao teor trocável de $Al^{3+}$, enquanto a não trocável é representada pelo $H^+$ retido de forma covalente na superfície dos coloides do solo.
3. Porque ele tem baixa capacidade de dissociar o $H^+$ retido na superfície dos coloides, cujo teor é bem maior do que o teor de $H^+$ em solução.
4. É um ácido fraco. Sua dissociação forma acetato, uma base forte.
5. O acetato de cálcio em solução sofre dissociação, gerando os íons $Ca^{2+}$ e acetato ($CH_3COO^-$). A alta concentração do $Ca^{2+}$ em solução permite o deslocamento do $Al^{3+}$ que estava adsorvido nos coloides.
6. O acetato é uma base forte, logo tem uma alta afinidade pelos íons $H^+$ em solução e forma ácido acético. Como o $H^+$ em solução está em equilíbrio com o $H^+$ adsorvido das superfícies dos coloides, o acetato força o deslocamento dos $H^+$ adsorvidos. Após o tempo de equilíbrio da reação, é feita titulação com hidróxido de sódio (NaOH 0,025 mol $L^{-1}$), que reagirá com o ácido acético em solução.
7. Pois nesse método é preciso utilizar uma equação ou valores pré-determinados (obtidos a partir de uma curva de calibração) para correlacionar o valor de pH obtido com o teor de H+Al extraído com acetato de cálcio.
8. O solo Y, pois o valor do pH-SMP é inversamente proporcional ao teor de H+Al, logo um menor valor de pH representa uma maior acidez potencial.

**Análise química de solo: atributos calculados e produção relativa**

1. A V% representa estimar quanto da CTC total, ou seja, quanto do "reservatório de cargas negativas" do solo está ocupado por macronutrientes catiônicos ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $K^+$). A m%, por sua vez, representa a porcentagem de $Al^{3+}$ (tóxico) em relação à soma dos cátions trocáveis adsorvidos no solo ($Al^{3+}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ e $K^+$), por isso, utiliza-se a que leva em consideração a Soma de Bases + $Al^{3+}$ (acidez trocável) é a $CTC_{efetiva}$, que é calculada sob condição de valores naturais de pH do solo, enquanto a CTC total ($Ca^{2+}$ + $Mg^{2+}$+ $K^+$+ $H^+$+$Al^{3+}$)é calculada a pH 7, condição em que o Al não se encontra em sua forma tóxica.
2. Porque a "soma de bases" refere-se à soma dos teores disponíveis de macronutrientes catiônicos ($Ca^{2+}$ + $Mg^{2+}$ + $K^+$), cuja disponibilidade aumenta com o aumento do pH, enquanto a disponibilidade do alumínio cai com o aumento do pH.
3. Solo 1: K = 2,6; Ca = 34; Mg = 21; Al = 3; H + Al = 52 $mmol_c\ dm^{-3}$ e
   Solo 2: K = 0,3; Ca = 4; Mg = 1,2; Al = 12; H + Al = 23 $mmol_c\ dm^{-3}$.
   Solo 1:
   SB = 57,6$mmol_c\ dm^{-3}$
   CTCtotal = 109,6$mmol_c\ dm^{-3}$
   CTCefetiva = 60,6$mmol_c\ dm^{-3}$
   V% = 52%
   m% = 5%
   Solo 2:
   SB = 5,5 $mmol_c\ dm^{-3}$
   CTCtotal = 28,5$mmol_c\ dm^{-3}$

CTCefetiva = 17,5mmol$_c$ dm$^{-3}$

V% = 19%

m% = 68%

4. Produção relativa é a relação entre a produção obtida por uma determinada cultura ou um conjunto delas utilizando-se uma adubação incompleta (adubação total exceto o elemento estudado) e a produção obtida com a utilização da adubação completa. Esse valor é dado em porcentagem para permitir a comparação e relativização dos dados obtidos com diferentes culturas em diversas condições edafoclimáticas.
5. Sete Lagoas: PR = 83%

   Paraopeba: PR = 54%

   Viçosa: PR = 120%

   A partir destes resultados de produção relativa é possível inferir sobre os teores de K no solo. A região de Sete Lagoas teve um valor de PR igual a 83%o. Desta forma, os tores do elemento no solo não adubado deveriam estar baixos (PR entre 71 e 90%). Em Paraopeba, onde se obteve a menor valor de PR (54%), o solo provavelmente apresentava teores muito baixos de P (PR ≤ 70%), uma vez que, sem adubação, a produção foi pouco superior à metade da produção obtida com a utilização de adubo potássico. Na última condição, Viçosa, o solo já apresentava valores altos ou muito altos de K (PR > 100%). Assim, após a adubação, provavelmente os teores de K atingiram níveis deletérios à planta, causando queda na produção.
6. Uma série de experimentos de campo é montada em diversas localidades. Nestes experimentos, há parcelas onde a cultura recebe adubação completa e outras parcelas onde é feita uma adubação incompleta (adubação total exceto o elemento estudado). Após a colheita da(s) cultura (s), em diferentes locais, tipos de solo, clima etc., são feitos cálculos de produção relativa. Com estes valores, é construído um gráfico que correlaciona a produção relativa (eixo y) em função do teor do elemento no solo (eixo x). A partir do gráfico, os pesquisadores estabelecem intervalos de produção relativa e obtém os teores do elemento no solo que foram responsáveis pela obtenção daquela PR. Esse procedimento pode ser utilizado para qualquer nutriente, mas no caso do P, os pesquisadores elaboraram classes de teores para quatro grandes grupos de culturas (perene, anual, florestal e hortaliças).
7. A partir de uma série de experimentos com diversas culturas e em diversas condições edafoclimáticas, e da construção de um gráfico construídos com os valores de produção relativa e teor do elemento no solo, foi estabelecido que o teor “baixo” de K no solo é relativo a um intervalo de teores no solo em que foram obtidas PRs entre 70 e 90%.
8. 100% é o limite entre as classes de teores “médios” e “altos e muito altos”. Uma PR = 90% é o limite entre as classes dos teores “baixos” e “médios”, enquanto a PR de 70% separa os teores “muito baixos” dos “baixos”.
9. O teor “muito alto” é o dobro do teor no solo correspondente a uma PR = 100%, que é o limite entre as classes de teores “médios” e “altos”. Por exemplo, 3 mmol$_c$ dm$^{-3}$ de K no solo corresponde ao teor no solo em que foi obtida 100% da PR. Assim, o teor de K no solo é muito alto a partir de 6 mmol$_c$ dm$^{-3}$.
10. Baixo e médio
11. A partir de uma série de experimentos com diversas culturas e em diversas condições edafoclimáticas, e da construção de um gráfico que correlaciona valores de produção relativa e teor do elemento no solo, foi estabelecido que o teor “médio” de K no solo é aquele correspondente a uma PR entre 90% e 100%. No caso do P, os pesquisadores concluíram que a separação das culturas em grandes grupos permite melhor interpretação dos resultados.

# BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA BÁSICA (ordem alfabética)

ERNANI, P.R. Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes. Lages: Udesc, 1. ed., 2008. v.1, 230 p.

LEPSCH, I.F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos. 2011. 456p.

LOPES, A.S. (trad.). Manual da Fertilidade do Solo. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e Mineralogia do Solo - Conceitos Básicos. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.1. 695 p.

MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e Mineralogia do Solo - Aplicações. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2. 685 p.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S. et al. Fertilidade do Solo, 3 ed. São Paulo: Nobel, 1987. 400p.

MEURER, E.J. Fundamentos de Química do Solo, 3.ed. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2006. 285 p.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.1. 1017 p.

RAIJ, B. van. Avaliação da Fertilidade do Solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. van. Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011.420 p.

SANTOS, G.A; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis. 636p. 2008.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BORKERT, C.M.; LANTMAN, A.F. (ed.) Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina: Embrapa Soja/IAPAR/SBCS, 1988. 317p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos, 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p. (tradução de I.F. Lepsch).

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Química dos micronutrientes e de elementos tóxicos em solos. In: FERREIRA, M.E. et al. (ed.) Simpósio sobre micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: FCAV/Unesp, 1999. Anais, 2001. cap.5, p.89-124.

KIEHL, E.J. Manual de Edafologia - Relações Solo-Planta. São Paulo, Editora Agronômica, 1979. 264p.

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola - Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. São Paulo: Editora Ceres, 1976. 528p.

MIELNICZUK, J. O Potássio no Solo. Piracicaba: Instituto da Potassa-Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1978. 79p. (Boletim Técnico 2)

MONIZ, A.C. (Coord.) Elementos de Pedologia. São Paulo: Edusp, 1972. 459p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.

RAIJ, B. van. Fertilidade do Solo e Adubação. São Paulo: Editora Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. (Coord.) Acidez e Calagem no Brasil. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 361p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Eds). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 304p. 2006.