



**Escola Superior de Agricultura**  
**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo



**Departamento de Produção Vegetal**



**0110-612 – Sistema de produção plantio direto**

**Aula 3: Fertilidade e interpretação. Mecanismos de contato. Modos de adubação.**

**André Fróes de Borja Reis**

**Piracicaba, agosto de 2017**

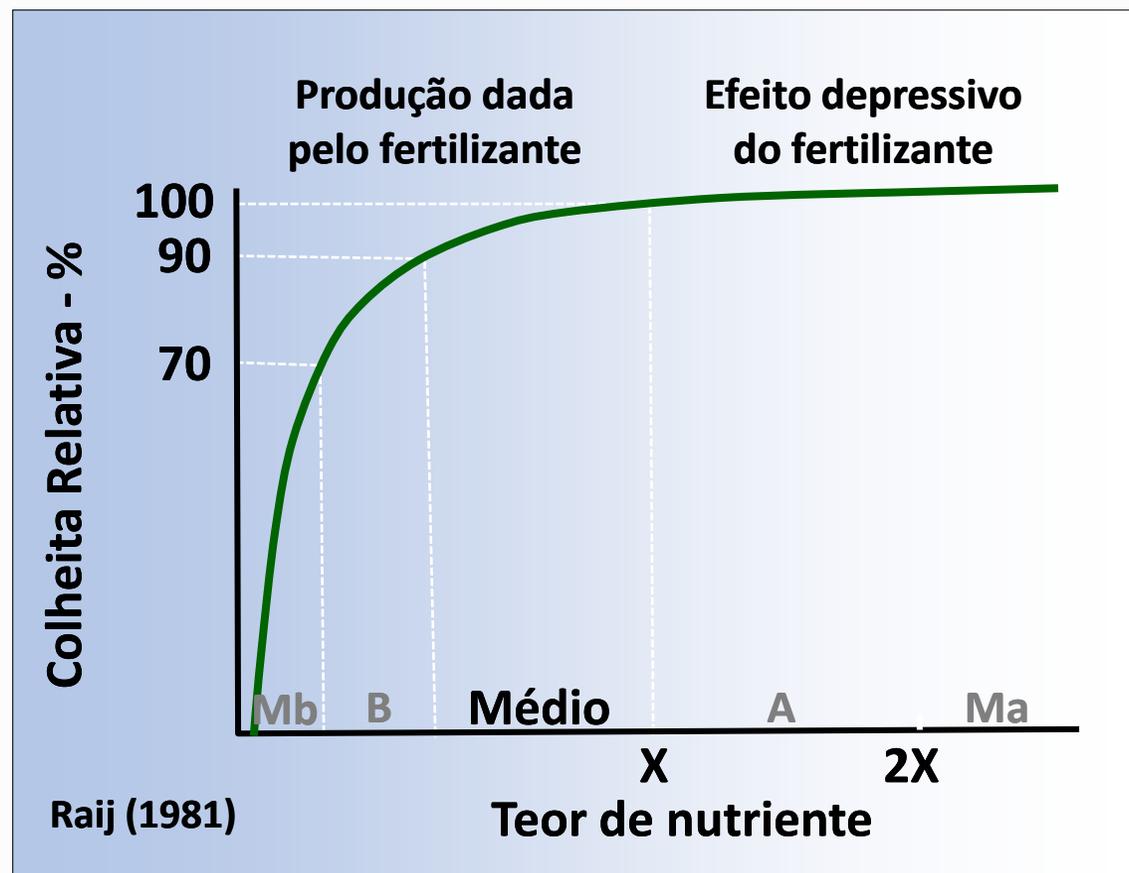
## Quais são os nutrientes de plantas?

Composição	<u>100</u> kg	Origem
C - carbono	44	Atmosfera
O - oxigênio	44	Água do solo
H - hidrogênio	<u>6</u>	
<u>CH<sub>2</sub>O</u>	<u>94</u> kg	<u>Fotossíntese</u>
Nutrientes e não nutrientes	6 kg	<u>Solo</u> + adubo, <u>via água</u>

Nutrientes são elementos sem os quais a planta não completa o ciclo de vida. C, O, H (94%); N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, e mais não nutrientes (6%).

Qualquer que seja o extrator não se obtém o teor real (X) de nutriente no solo. Ainda assim, o teor serve de referência porque foi calibrado com a colheita relativa (Y). A análise de solo só faz sentido se houver essa correlação!

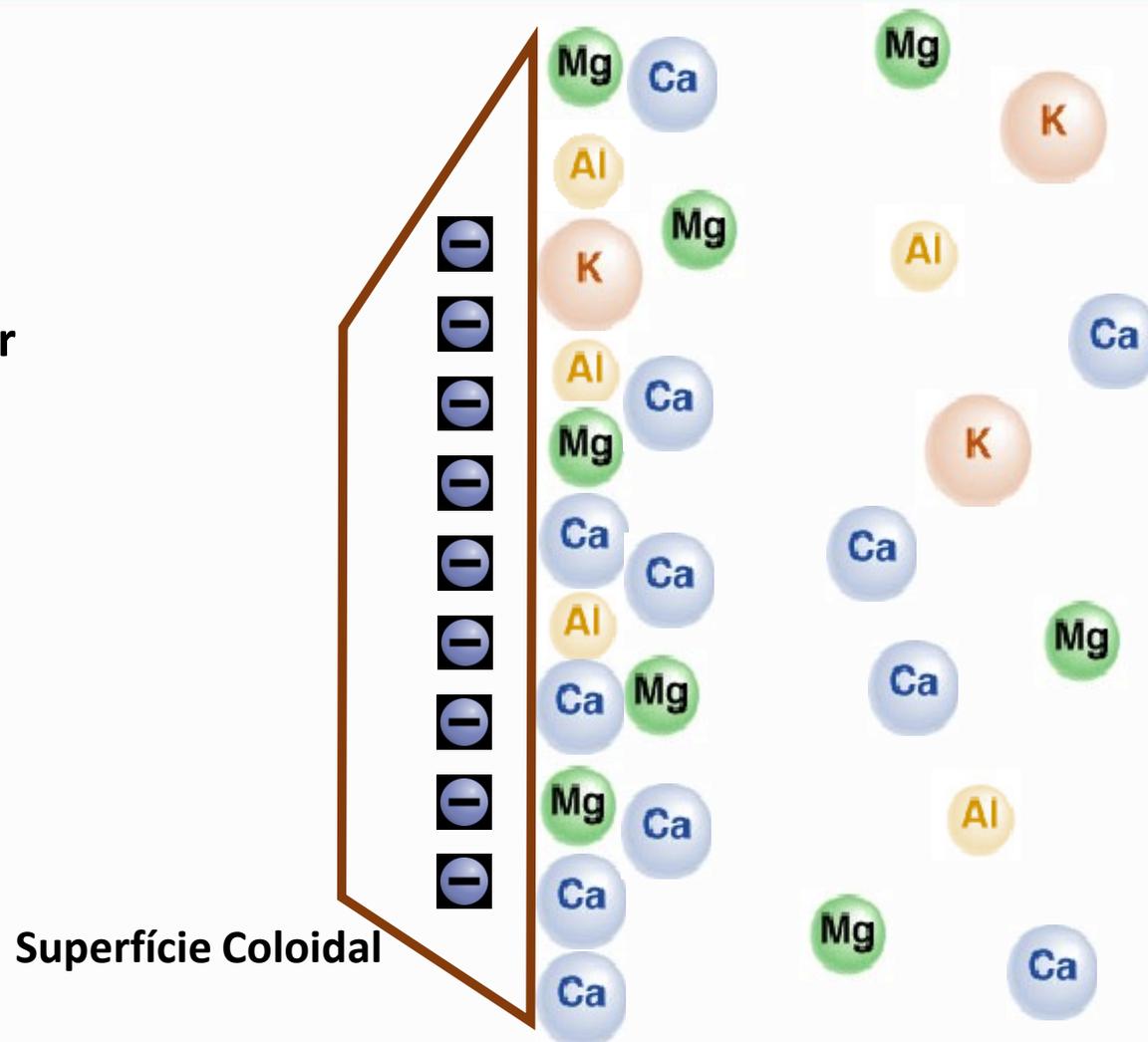
## Fertilidade de solo: classes de teor em razão do extrator usado na análise química de solo...



Teores de nutrientes		Médio/Bom
Fósforo Mehlich–	mg dm <sup>-3</sup>	30 a 45 - A
Fósforo Mehlich–	mg dm <sup>-3</sup>	20 a 30 - M
Fósforo Mehlich–	mg dm <sup>-3</sup>	12 a 18 - A
Fósforo resina –	mg dm <sup>-3</sup>	13 a 30
-----		
Potássio –	mmol dm <sup>-3</sup>	1,6 a 3,0
Potássio –	mg dm <sup>-3</sup>	60 a 120
-----		
Cálcio –	mmol dm <sup>-3</sup>	4 a 7
Magnésio –	mmol dm <sup>-3</sup>	5 a 8
Enxofre –	mg dm <sup>-3</sup>	5 a 10
-----		
Raij et al. (1996) e Alvarez V et al. (1999)		

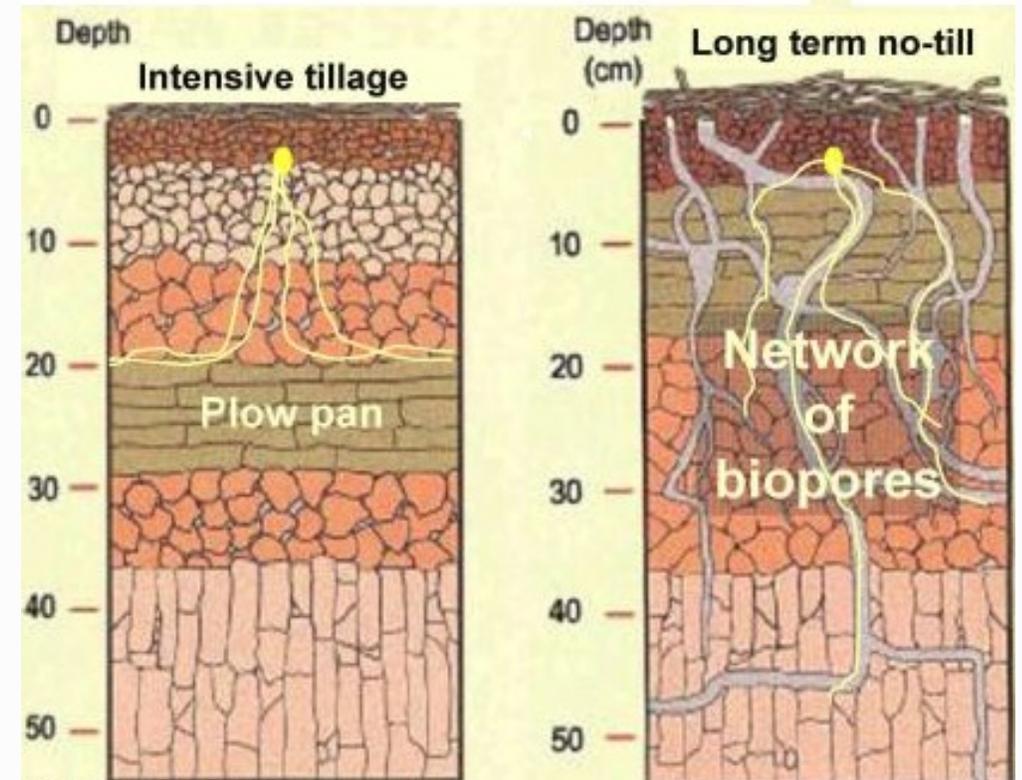
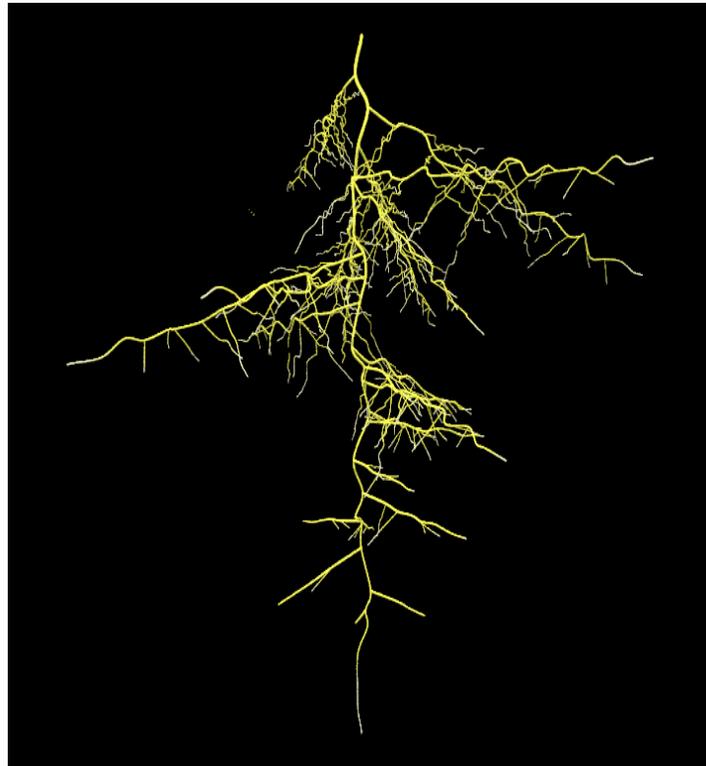
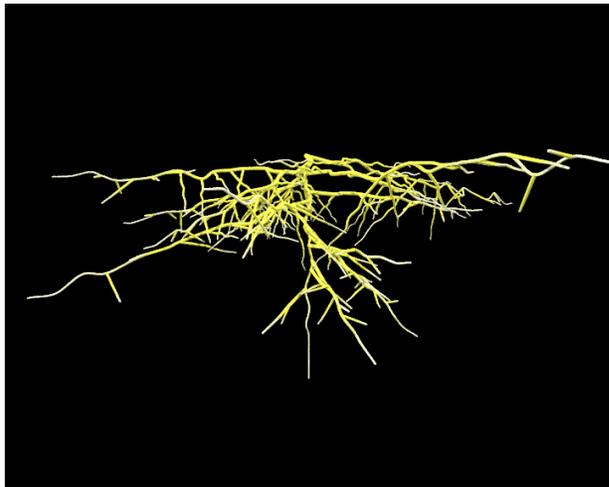
# De que forma o Nutriente Chega a raiz da planta?

- Interceptação Radicular
- Fluxo de Massa
- Difusão



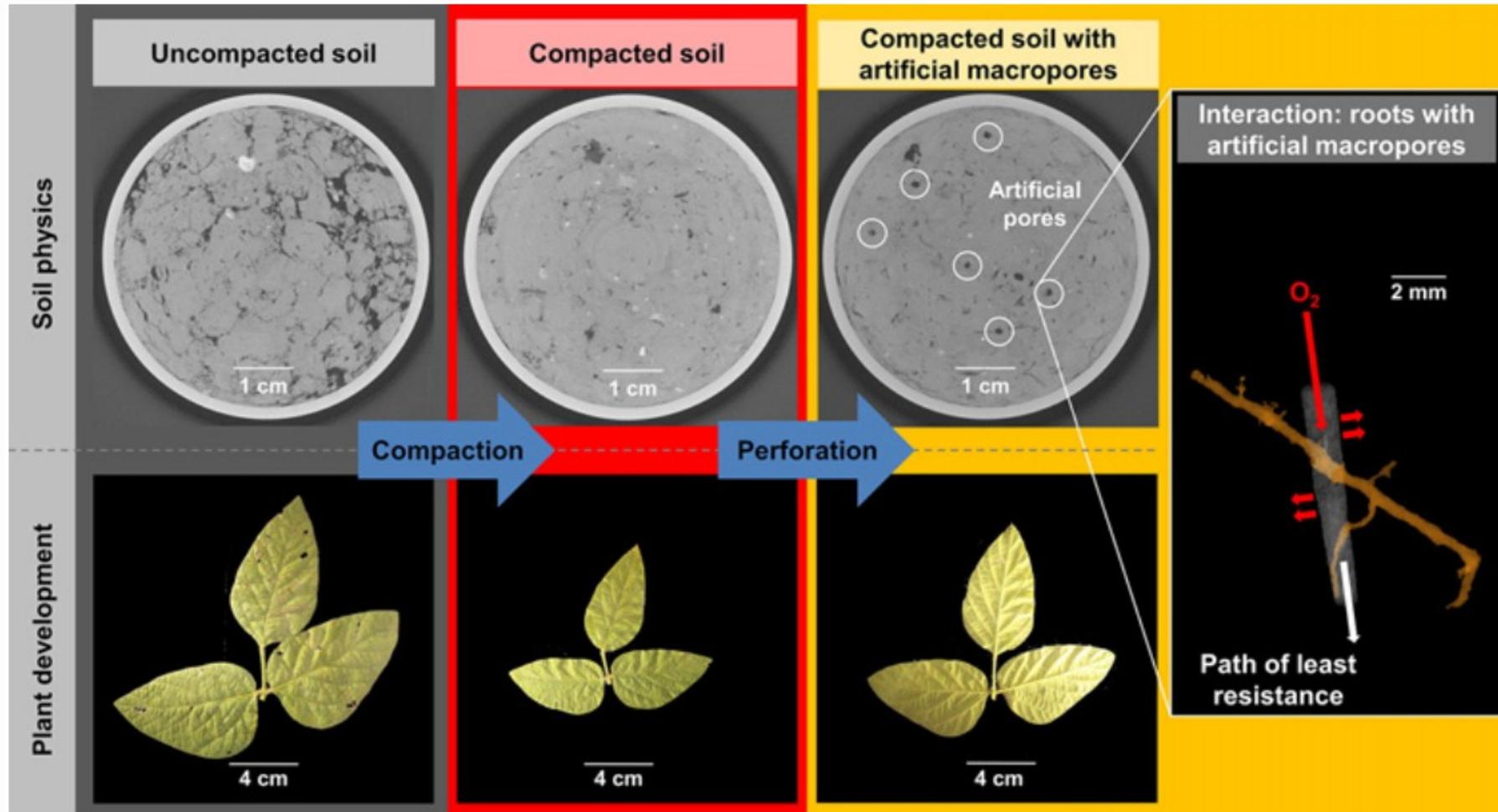
# Interceptação Radicular

- Quais Fatores favorecem ou impedem crescimento de raiz?

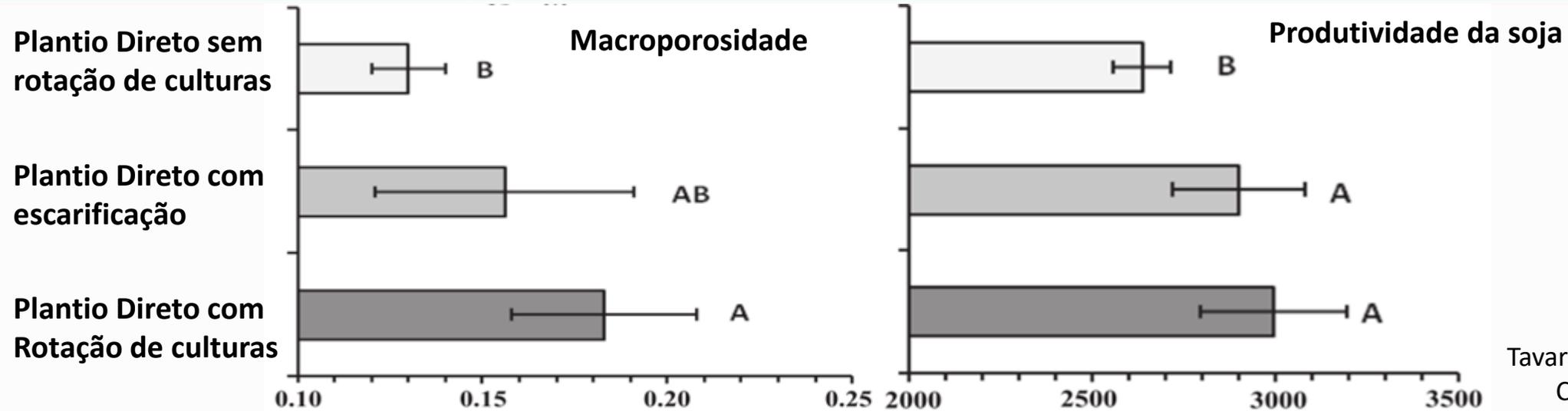


<http://articles.extension.org/pages/18634/use-of-tillage-in-organic-farming-systems:-the-basics>

# Interceptação Radicular



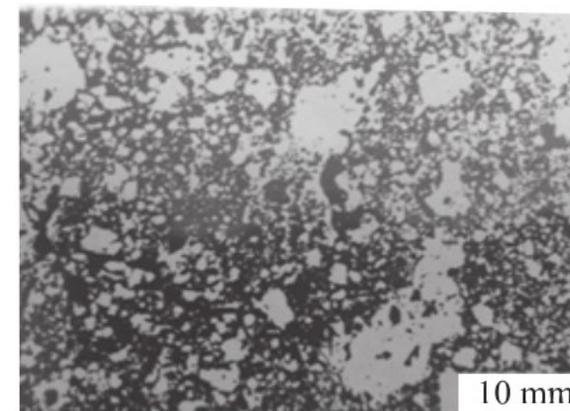
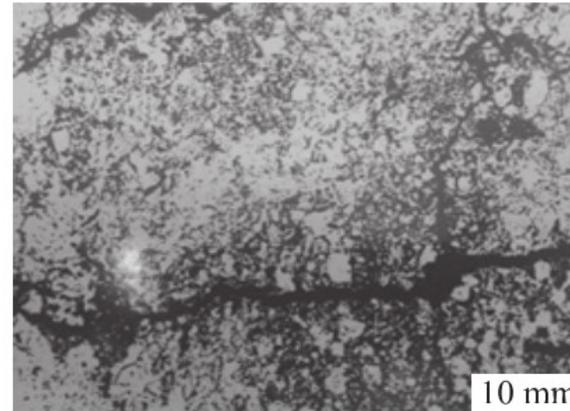
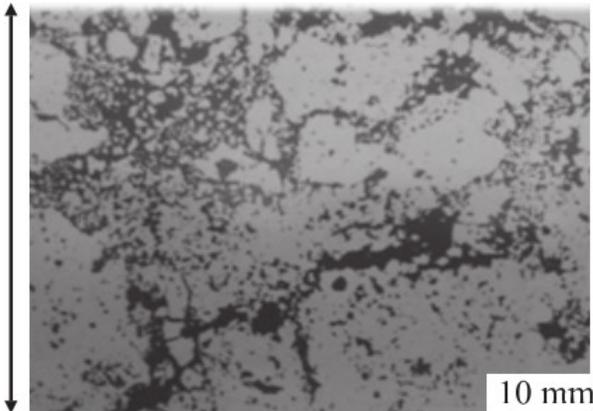
# Interceptação Radicular



Tavares Filho, J., Guimarães, M.D.F., Curmi, P., Tessier, D., 2012.

Porção clara - partículas do solo

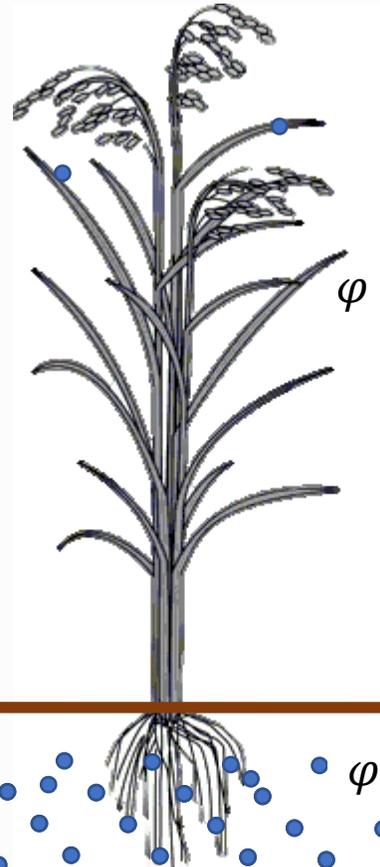
Porção escura - macroporo



# Fluxo de Massa

# Fluxo de Massa

$$\varphi = \varphi_{\text{osmótico}} + \varphi_{\text{matricial}} + \varphi_{\text{gravt}}$$



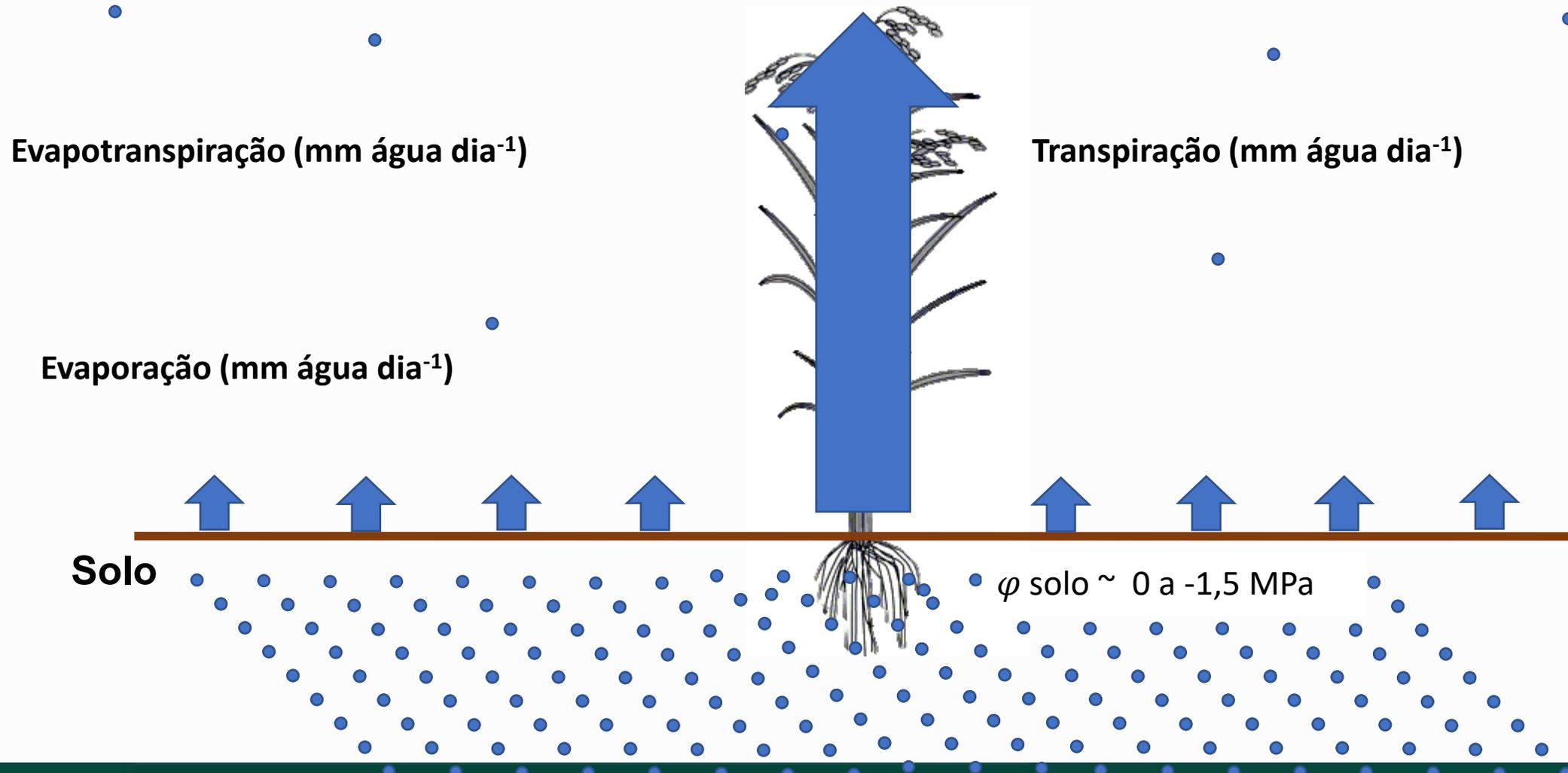
$\varphi_{\text{atmosfera}} \sim -100 \text{ MPa}$

$\varphi_{\text{Folha}} \sim -1,5 \text{ a } -2,0 \text{ MPa}$

$\varphi_{\text{solo}} \sim 0 \text{ a } -1,5 \text{ MPa}$

**Solo**

# Fluxo de Massa



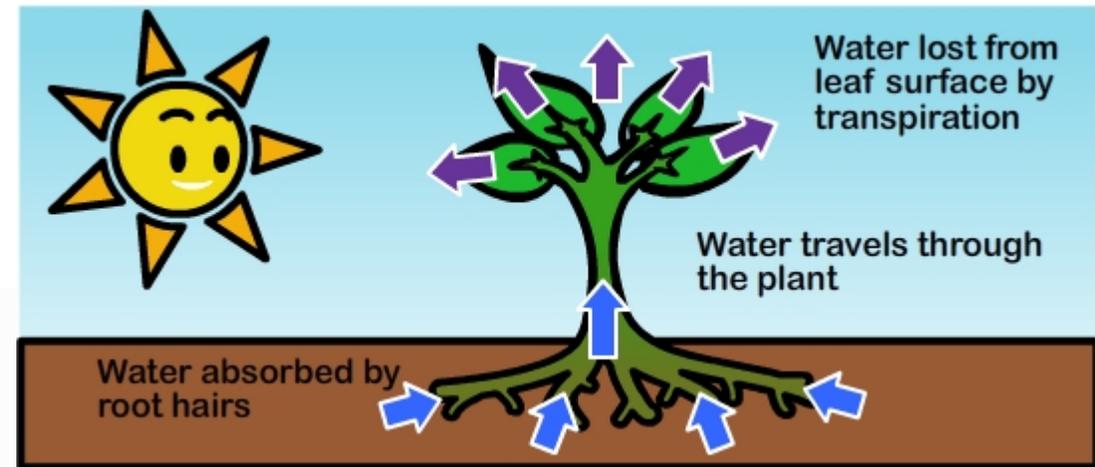
# Fluxo de Massa

- Fluxo de massa (FM) é descrito como:

$$FM = q C$$

$q$  = volume de água evapotranspirada

$C$  = teor de nutriente na solução do solo



	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
<b>Solução do solo</b>	0.002	2.5	74.3	14.3	0.5	0.01	0.8	0.1	0.01

# Difusão



$$D_e = D_1 \theta \frac{1}{f} \frac{dC_1}{dC_s}$$

Coeficiente de difusidade em água (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	
Ca	0.78 - 1.64 x 10 <sup>-10</sup>
Mg	0.69 - 1.46 x 10 <sup>-10</sup>
K	2.1
P	2.2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.9

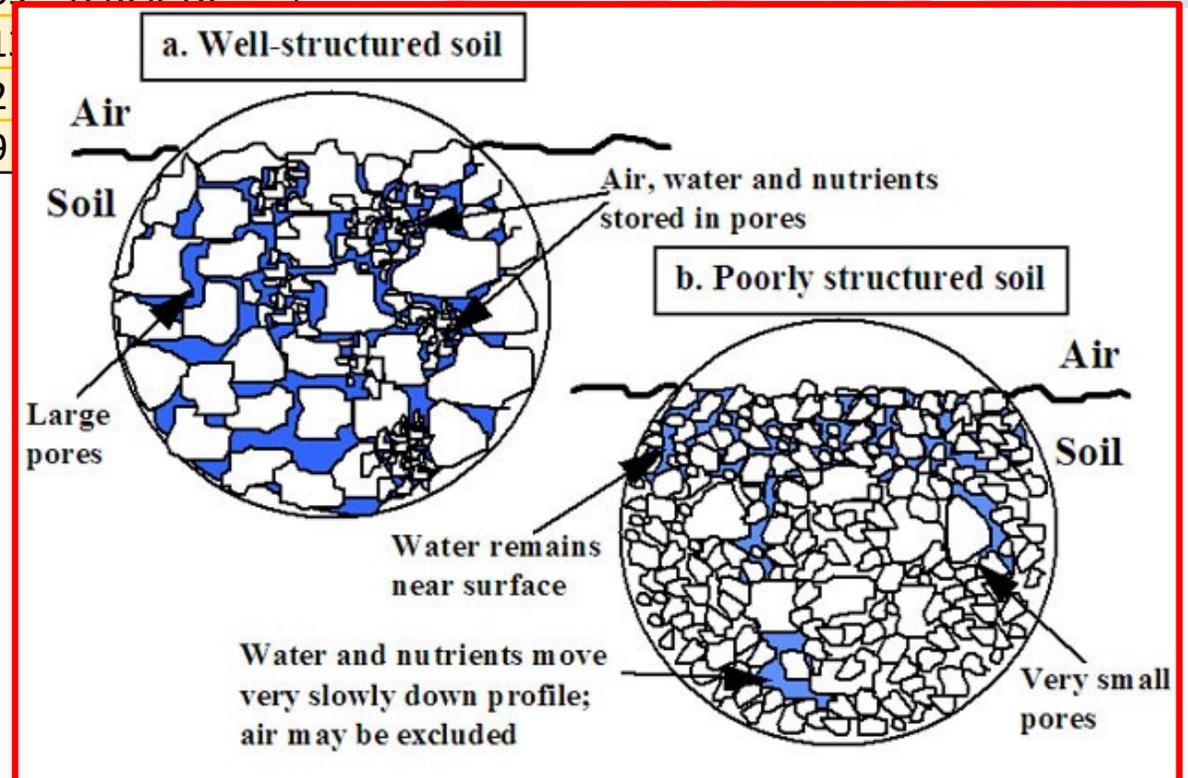
$D_e$  = Difusão no solo (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>)

$D_1$  = Coeficiente de difusão do íon na água (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>)

$\theta$  = Conteúdo volumétrico de água no solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$f$  = Fator de impedância (m m<sup>-1</sup>) - tortuosidade

$\frac{dC_1}{dC_s}$  = Inverso do poder tampão do íon,  $C_1$  = teor de nutriente na solução do solo,  $C_s$  = teor de nutriente na solução do solo + nutriente adsorvido.



# Difusão

## Movimento no solo (mm dia<sup>-1</sup>)

<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	3.0
<b>K</b>	0.9
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	0.13

Marschner & Rengel, 2012

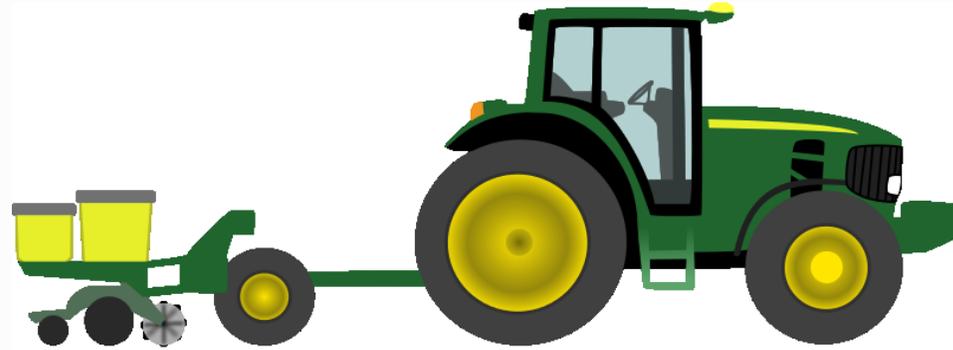
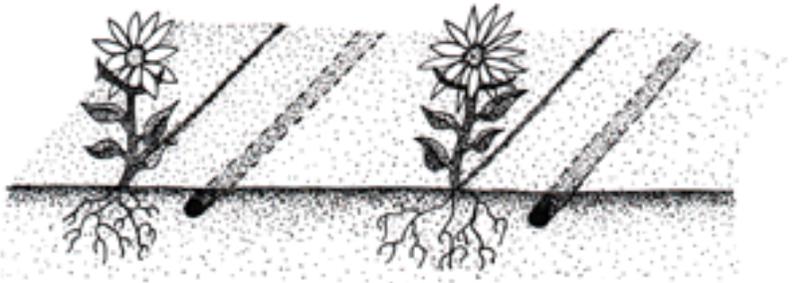


	<b>Demanda</b> <b>Kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>Interceptação</b> <b>radicular</b> -----	<b>Fluxo de</b> <b>massa</b> -----	<b>Difusão</b> -----
		<b>(%)</b>		
<b>K</b>	195	2%	18%	80%
<b>N</b>	190	1%	79%	20%
<b>P</b>	40	3%	5%	93%
<b>Mg</b>	45	33%	222%	0%
<b>Ca</b>	35	171%	429%	0%
<b>S</b>	20	5%	95%	0%

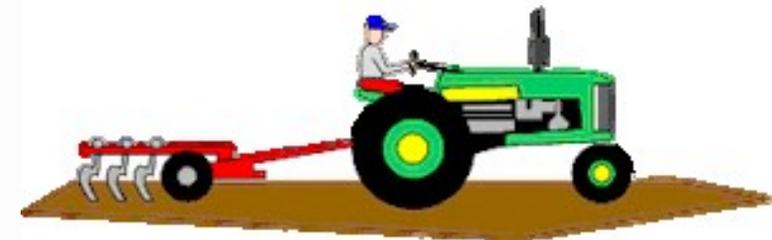
Adaptado de Malavota, 1980 e Barber, 1995

# Formas de aplicação do nutriente

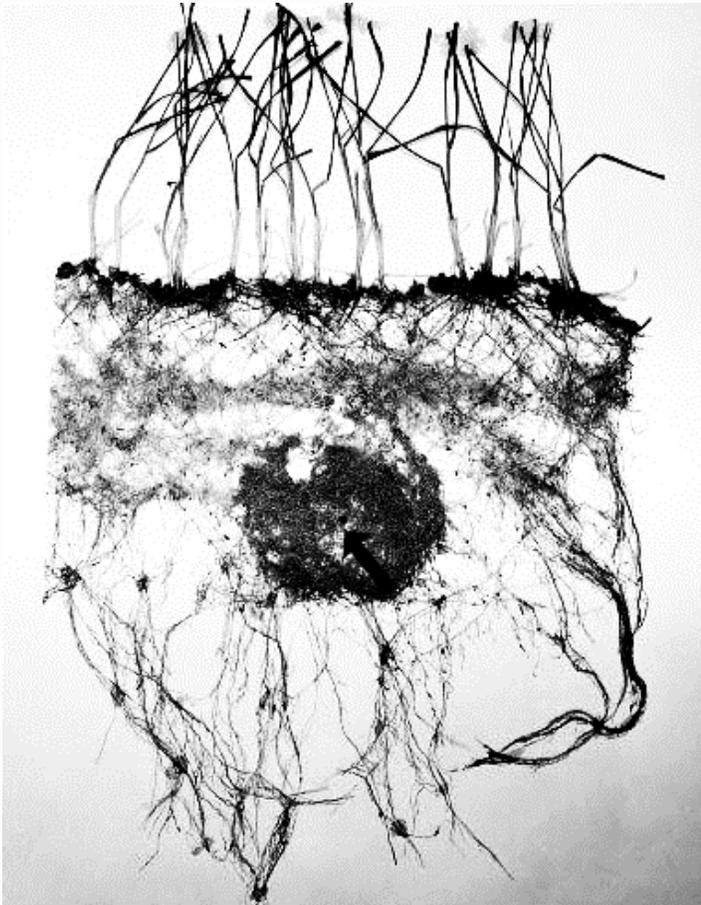
No suco de plantio



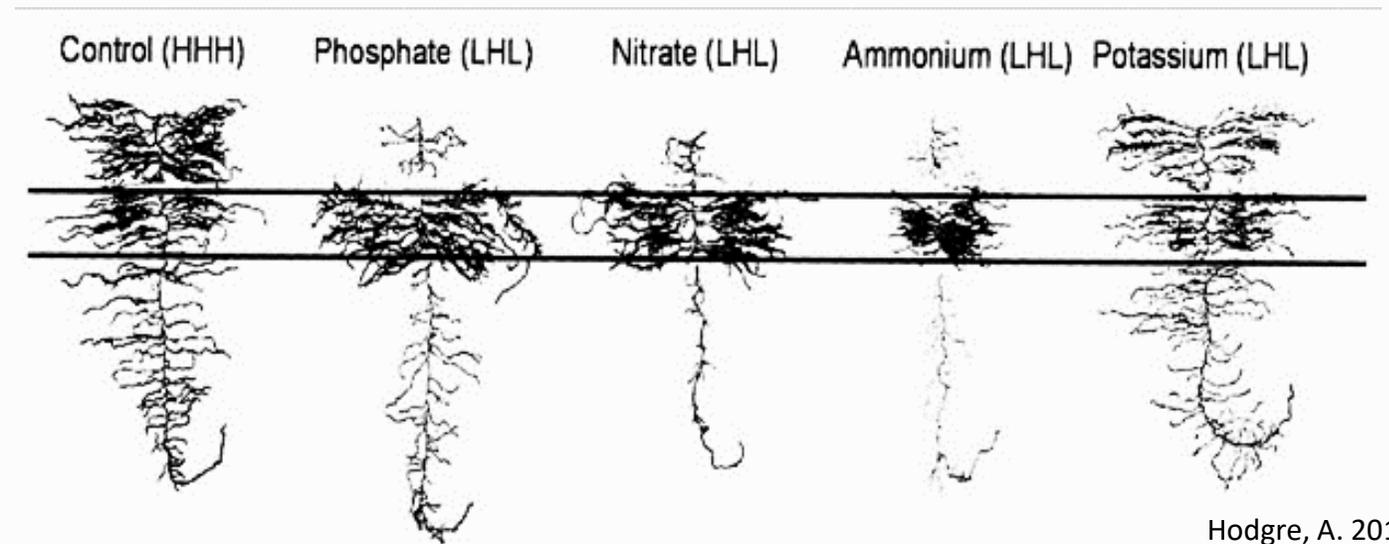
Aplicado a lanço



# Efeito da posição do nutriente e arquitetura do sistema radicular



<http://plantsinaction.science.uq.edu.au/sites/plantsinaction.science.uq.edu.au/files/4.1-Ch-Fig-4.11.png>

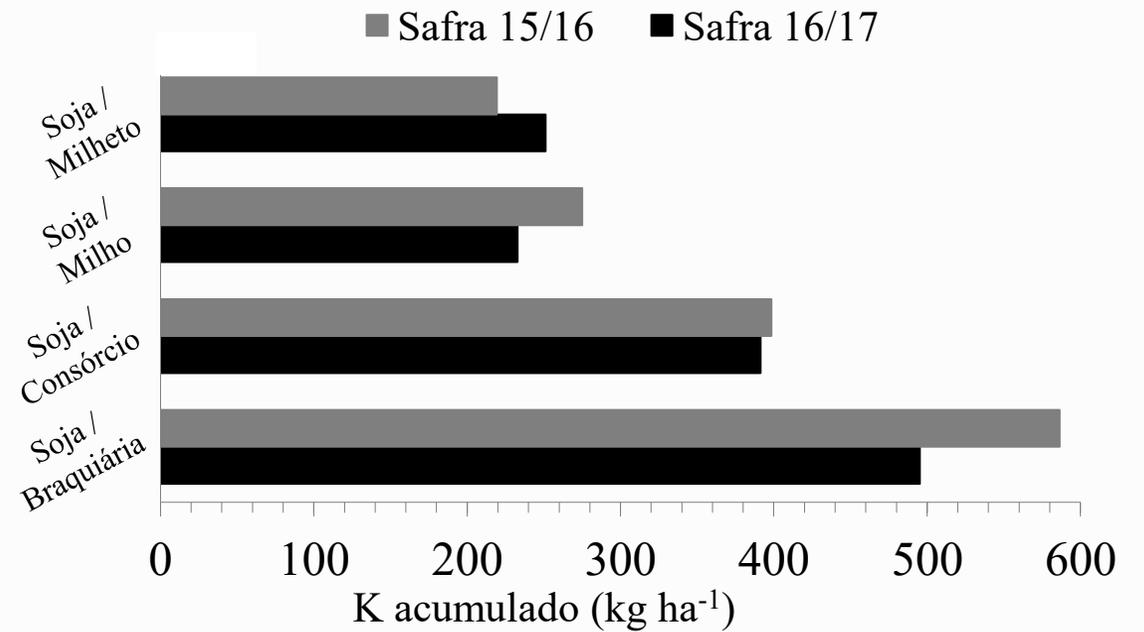
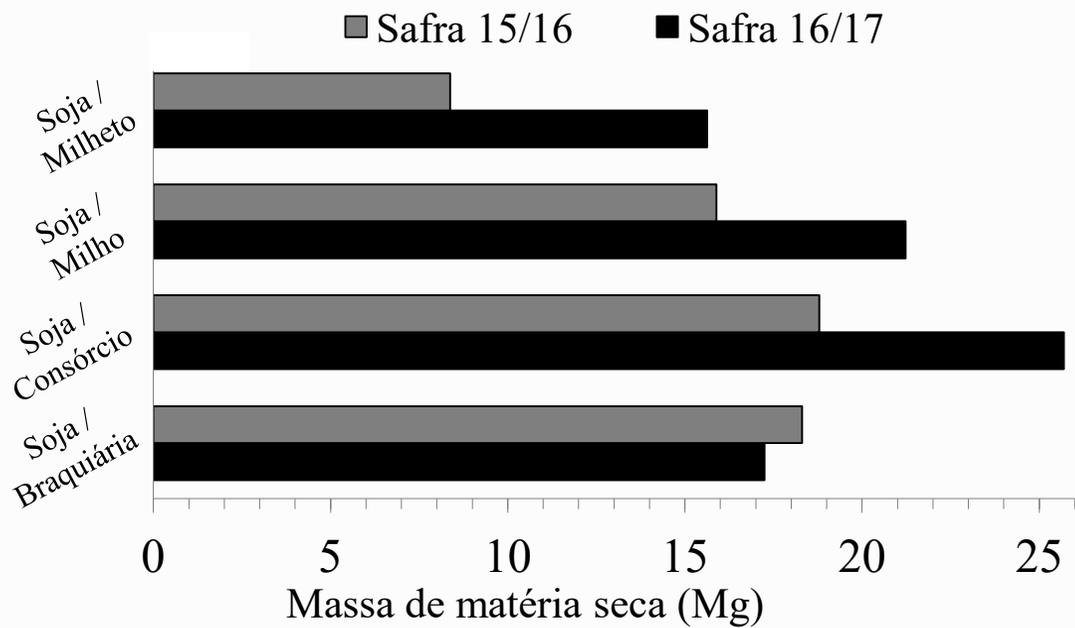


Hodgre, A. 2012

# Formas de aplicação do nutriente



# Adubação de sistemas



# Para Guardar:

## Interpretação da análise foliar:

- Definição dos níveis em razão da interação genótipo e ambiente. As classes poderão mudar em razão dos avanços no manejo
- Atribuição do agrônomo cada vez menos da pesquisa

## Mecanismos de contato:

- Fundamentos do fluxo de massa e interceptação radicular
- Como o manejo do solo interfere nas relações que controlam os mecanismos

## Forma de aplicação dos nutrientes

- Fatores a serem considerados na decisão de aplicar o nutriente a lanço ou na linha
- O conceito de adubação de sistemas

Dúvidas?  
Andrefbr@usp.br



**Escola Superior de Agricultura**  
**“Luiz de Queiroz”**

Universidade de São Paulo



**Departamento de Produção Vegetal**



**0110-612 – Sistema de produção plantio direto**  
**Aula 2: Fertilidade e interpretação. Mecanismos de contato. Modos de adubação.**

**André Fróes de Borja Reis**

**Piracicaba, agosto de 2017**