

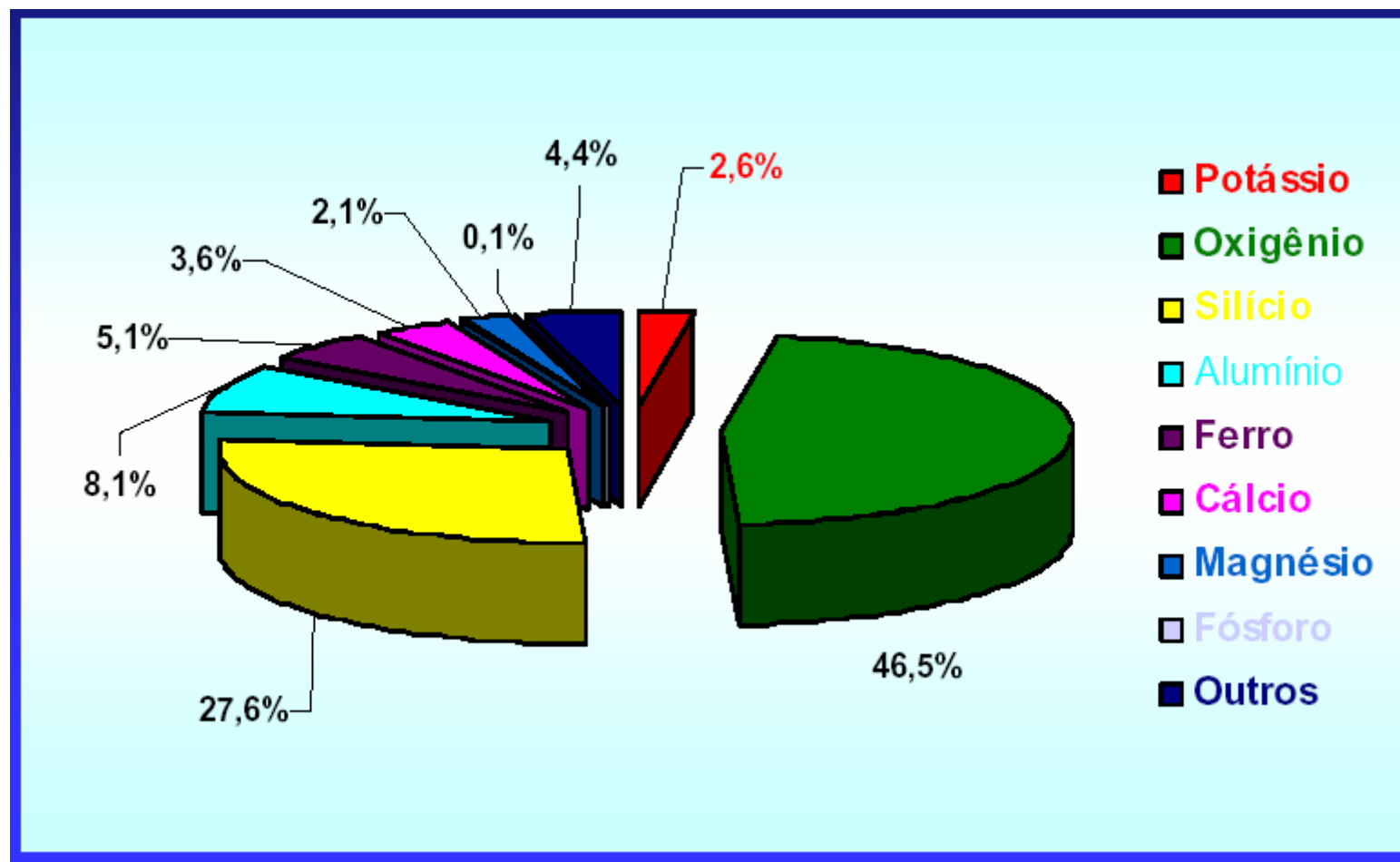
POTÁSSIO

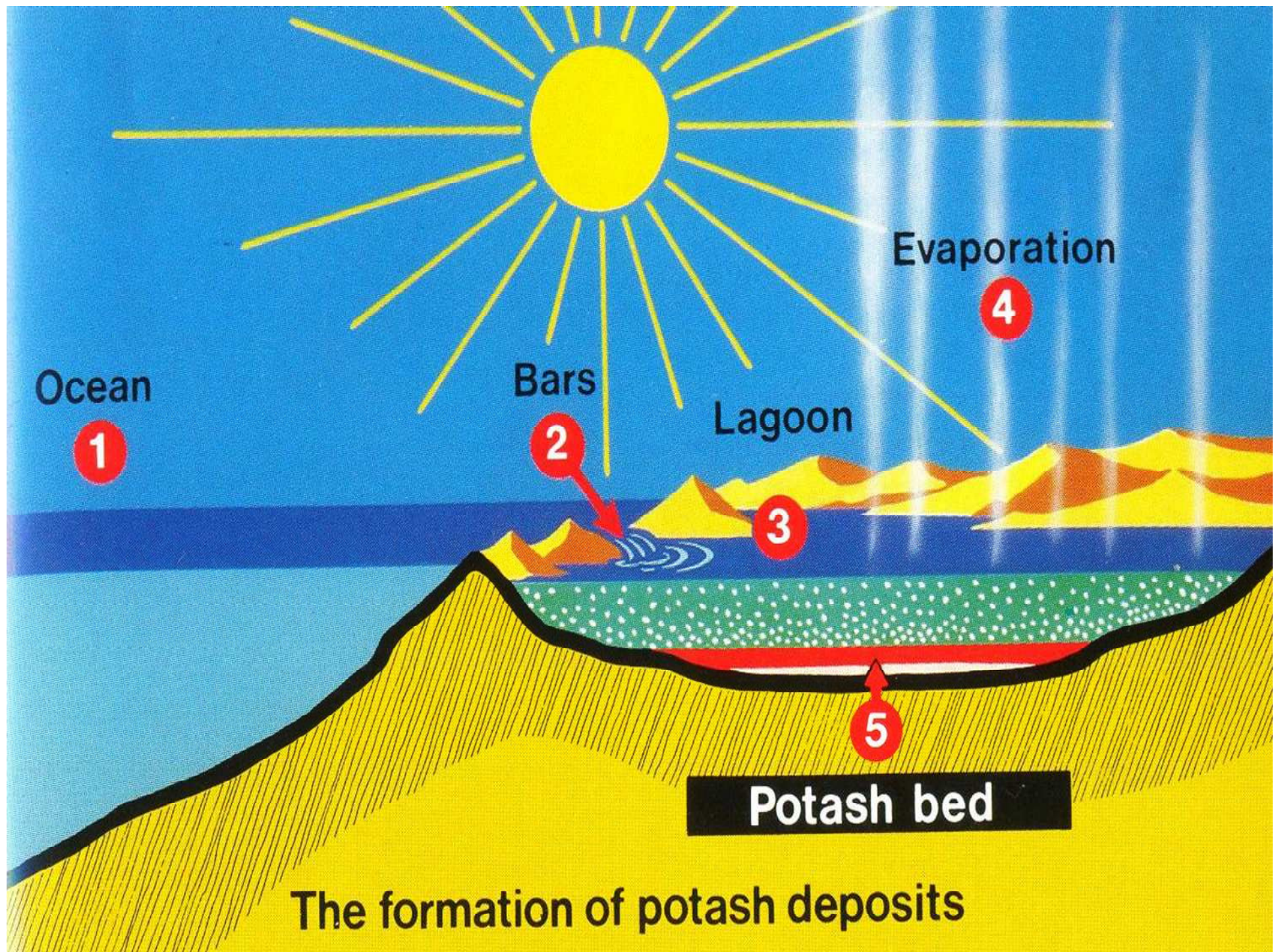
Prof. Volnei Pauletti

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
vpauletti@ufpr.br



COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DA CROSTA TERRESTRE NA PROFUNDIDADE DE 0 – 16 KM (MENGEL & KIRKBY, 1987)







Carnalita $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

17% K_2O



Silvita KCl

63 % K_2O



K na planta

Elemento	Símbolo	% em matéria seca	Classificação
Carbono	C	45	Macronutriente
Oxigênio	O	45	
Hidrogênio	H	6	
Nitrogênio	N	1,5	
Potássio	K	1,0	
Cálcio	Ca	0,5	
Magnésio	Mg	0,2	
Fósforo	P	0,2	
Enxofre	S	0,1	
Cloro	Cl	0,01	Micronutriente
Ferro	Fe	0,01	
Manganês	Mn	0,005	
Boro	B	0,002	
Zinco	Zn	0,002	
Cobre	Cu	0,0006	
Molibdênio	Mo	0,00001	
Níquel	Ni	-	-

Modificada de Salisbury & Ross (1991).

FONTES NATURAIS DE POTÁSSIO NO SOLO

- Existe um equilíbrio entre as várias formas de potássio no solo
- As formas de potássio dependem:
 - Material de origem
 - Do ambiente do solo
 - Da idade do solo
- A quantidade extraída de potássio pelas plantas é superior a encontrada nas formas trocáveis

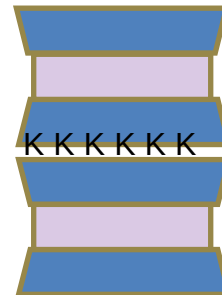
POTÁSSIO TOTAL

Estrutural (90%)

Minerais primários

Micas
Feldspatos

intemperismo

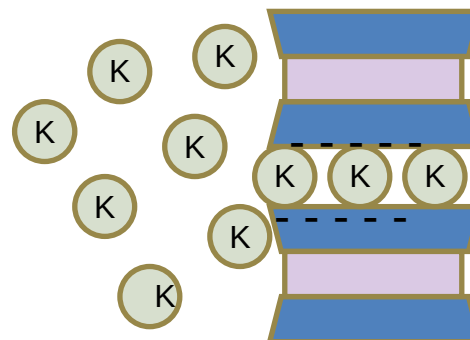


Não-trocável

Minerais secundários

ilita e vermiculita

Solução do solo



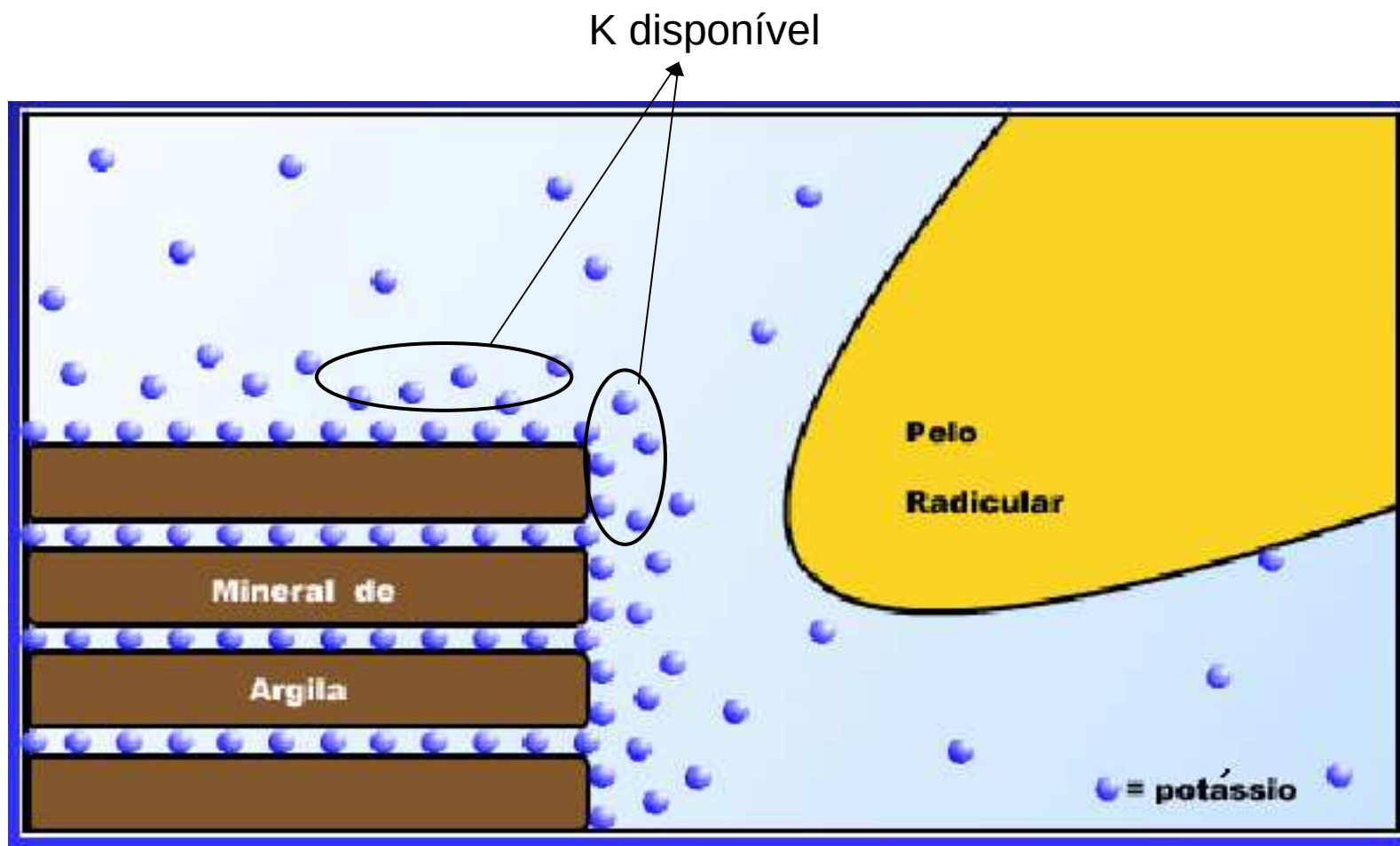
Trocável

POTÁSSIO TROCÁVEL

- É a fração do potássio que se encontra ligada às cargas negativas nas superfícies dos minerais e frações orgânicas do solo – Ligações eletrostáticas
- Restitui rapidamente o K retirado da solução do solo pelas plantas ou por lixiviação
- Reserva imediata para as plantas



CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO E ADSORVIDO À MINERAIS DE ARGILA



DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL ENTRE AS FORMAS DE POTÁSSIO NA CAMADA ARÁVEL (0-20) DE ALGUNS SOLOS DA REGIÃO SUL

Classificação	Ktotal Mmol kg- 1	Kestrutural %total	Knão- troçável %total	K Troçável %total	K Solução %total
Neossolo litólico Distrofíco típico	724	98,1	1,5	0,4	<0,1
Luvissolo Hipocrômico órtico típico	589	97	3,3	0,4	<0,1
Planossolo Háplico Eutrófico solódico	203	99,1	0,5	0,5	<0,1
Argissolo vermelho Eutrófico latossólico	81	95,2	2,7	1,8	0,3

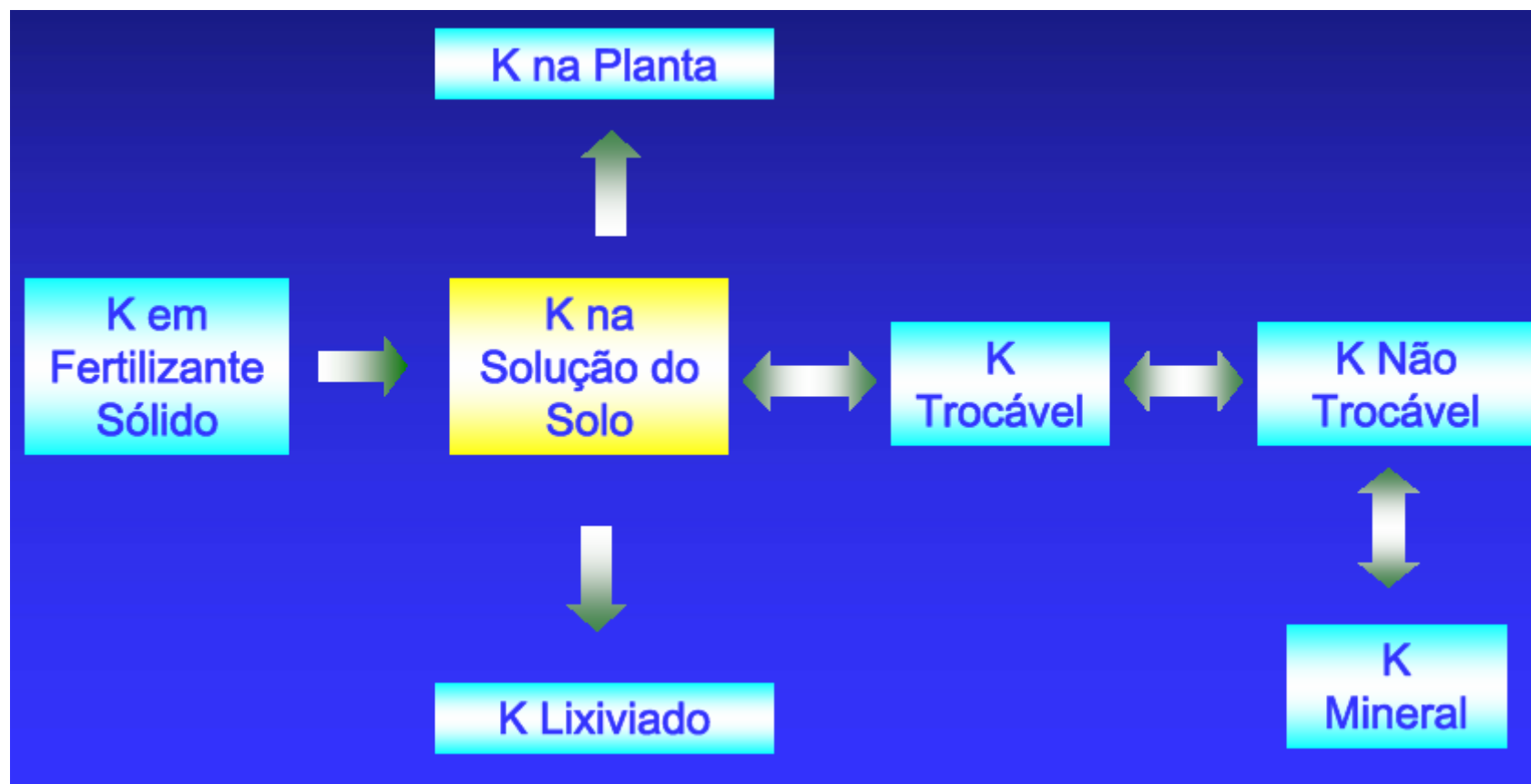
Fonte: Natchigall & Vahl (1989) citado por Melo et. al (2009)

K total no solo e absorvido pelo azevém perene

Solo	Mat. Origem	K total	--- K absorvido pelo azevém* ---		
			K trocável	K não-trocável	Total
			----- mg kg ⁻¹ -----		
Lat. Vermelho distroférico típico	Basalto	1960	17	399	416
Lat. Vermelho distroférico típico	Basalto	4560	45	400	445
Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico	Basalto	6400	313	427	740
Argissolo Vermelho distrófico latossólico	Arenito-argilito	14200	17	442	459

Oliveira et al. (1971). *Em sete cortes

COMPORTAMENTO DO POTÁSSIO EM SOLO ADUBADO, COM RELAÇÃO AOS ASPECTOS QUE AFETAM A NUTRIÇÃO VEGETAL (ADAPTADO DE LARSEN, 1971)



CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS MECANISMOS DE INTERCEPTAÇÃO RADICULAR, FLUXO DE MASSA E DIFUSÃO NA ABSORÇÃO DE P, K, CA, Mg POR PLANTAS DE MILHO, DURANTE 13 DIAS DE CULTIVO

Nutriente	Interceptação Radicular	Fluxo de massa	Difusão
%			
Fósforo	3,5	2,6	93,9
Potássio	0,9	10,1	89,0
Cálcio	35	337,5	-
Magnésio	10,9	172,3	-

Fonte : Vargas et al (1983) citado por Meurer (2007)

ABSORÇÃO

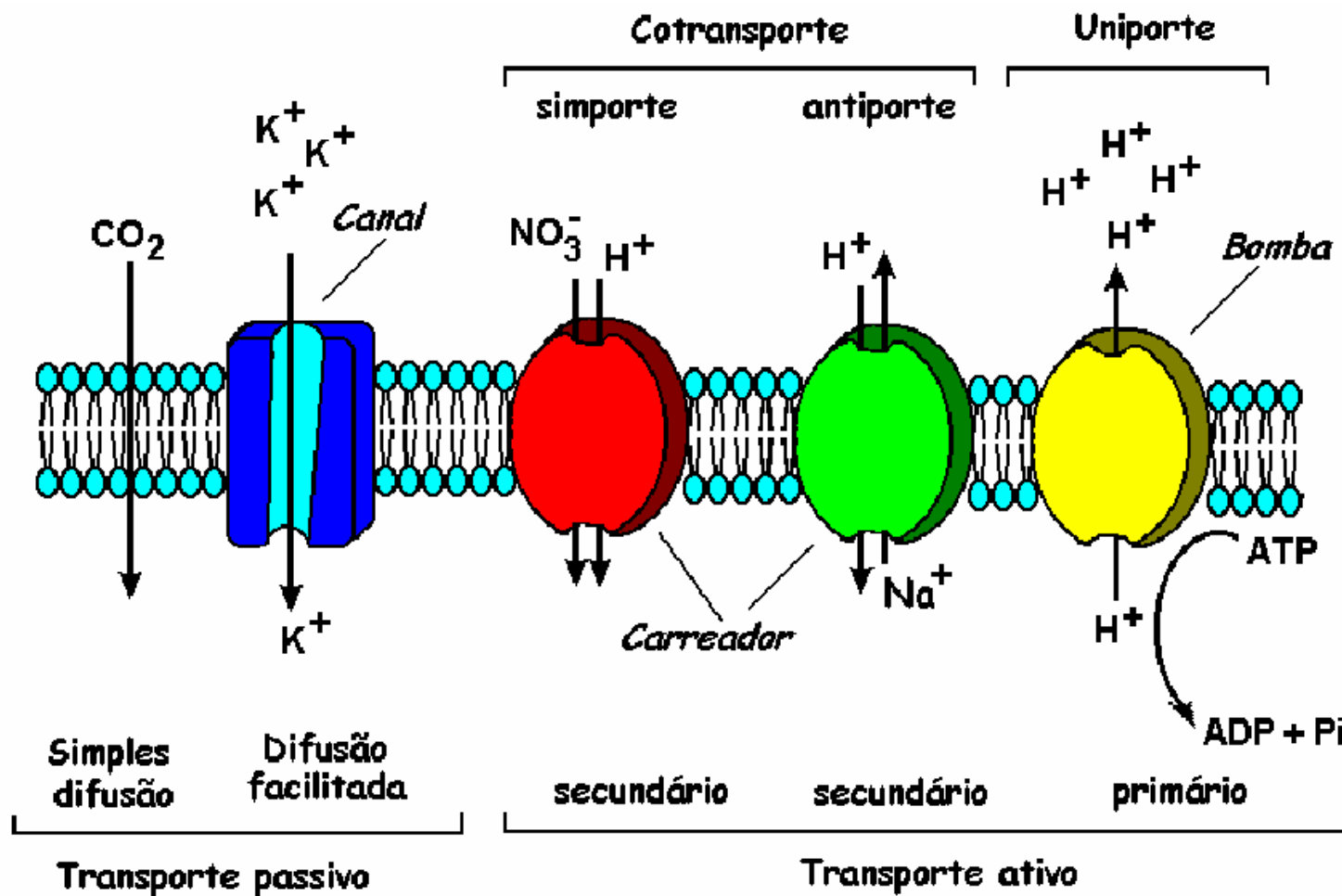
- É o elemento mais móvel no sistema solo-planta-atmosfera
- Absorvido na forma iônica K^+
- É o cátion mais abundante dentro das plantas
- - Os teores nas plantas variam entre 6 e 50 g kg^{-1} , com teores médios entre 10 e 30 g kg^{-1} (1 e 3%)

PROCESSO PASSIVO

○ Canais

- Proteínas que formam poros preenchidos por água
- Específico para íons e água
- São portões que se abrem e fecham
- Permitem a passagem de até 100 milhões de íons por segundo

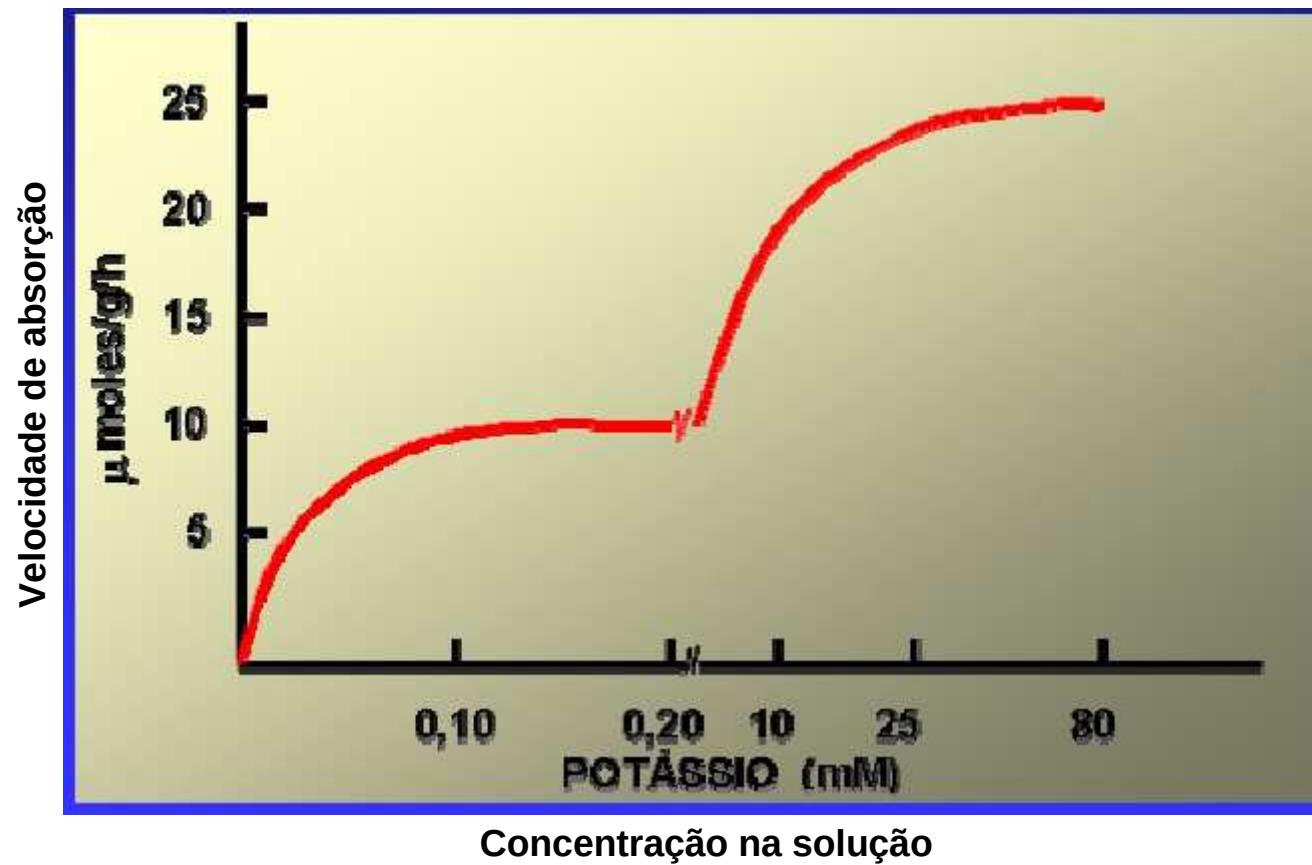
ABSORÇÃO



PROCESSO ATIVO

- Ocorre contra um gradiente de concentração (morro acima)
- O elemento passa pela membrana celular
- O elemento passa para o citoplasma da célula
- Introdução de energia no sistema (ATPase) :
 - - Bombas iônicas e carreadores

MECANISMO DUPLO PARA ABSORÇÃO DE POTÁSSIO



REDISTRIBUIÇÃO: FONTE X DRENO

- Move-se no floema das folhas para outros órgãos (regiões de crescimento e armazenamento), geralmente em companhia de um ânion (ácidos orgânicos $R-COO^-$).
- Move-se dos tecidos mais velhos para os mais novos.

ABSORÇÃO DE POTÁSSIO

CONCENTRAÇÃO E FORMAS DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO, XILEMA E FLOEMA DAS PLANTAS

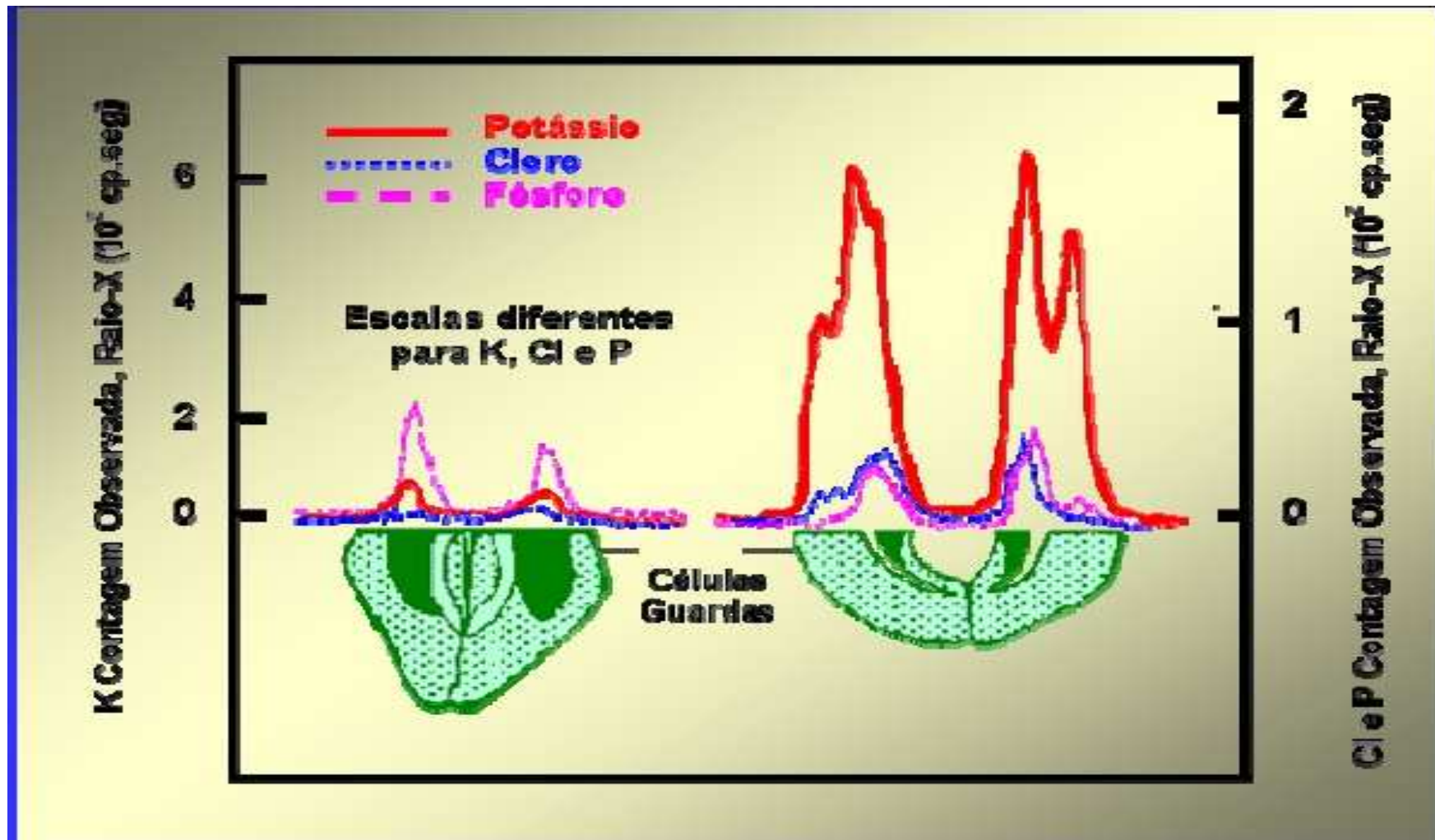
Nutriente	Solução do Solo Conc. (μM)		Xilema		Floema	
	Valores Médios	Forma	Conc. (μM)	Forma	Conc. (μM)	Forma
Potássio	1.300	K	6.000	K	20.000	nd

FUNÇÕES

- **Compostos**
 - **Predomina na forma iônica, composto desconhecidos**
- Movimento estomático
- Fotossíntese e translocação de fotossintetizados
- Ativador de mais de 60 enzimas (sintetases, oxirredutases, desidrogenases, transferases, cinases)
- Metabolismo do nitrogênio
- Crescimento meristemático
- Transporte e armazenamento de carboidratos
- Qualidade dos produtos

MOVIMENTO ESTOMÁTICO

Concentração de íons (K, Cl e P) nas células guardas com estômatos fechados e abertos (Humble & Raschke, 1971)

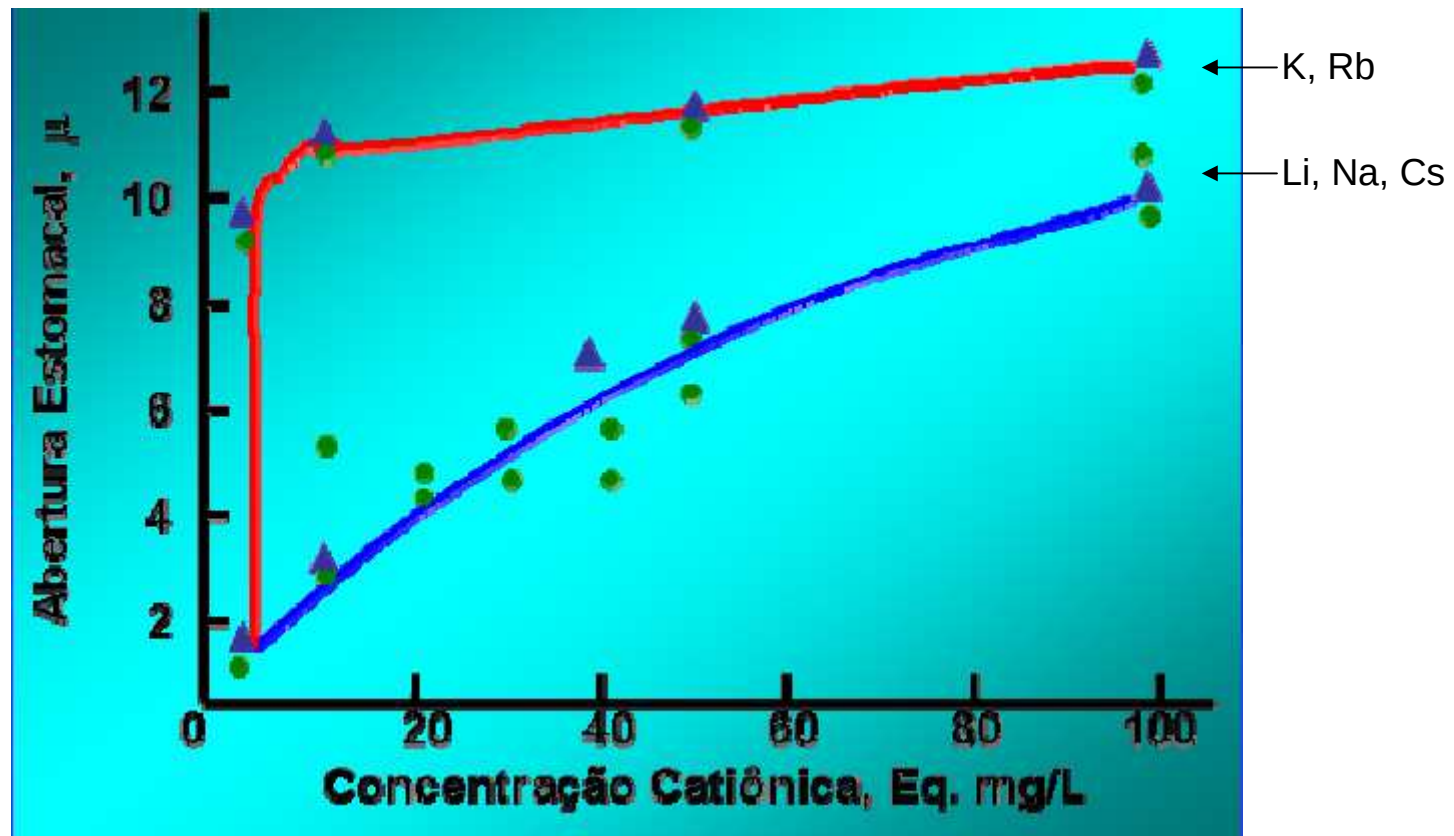


O POTÁSSIO FORTALECE AS PLANTAS CONTRA A SECA

- Habilidade em alterar a transpiração mediante alterações ambientais
- Mediante calor e clima seco, o potássio possibilita o rápido fechamento dos estômatos
- Plantas com deficiência de potássio levam até 40' para fechar os estômatos

MOVIMENTO ESTOMÁTICO

Grau de abertura dos estômatos em *Vicia faba* em função da concentração de cátions monovalentes em solução nas quais tiras da epiderme foram postas a flutuar, à luz (Humble & Hsião, 1969).



FUNÇÕES DO POTÁSSIO

- Movimento Estomático
- Fotossíntese e Translocação dos Sintetizados

FOTOSSÍNTESE E TRANSLOCAÇÃO DOS FOTOSSINTATOS

- Influencia a síntese da enzima Ribulose Difosfato Carboxilase (Rubisco)
 - Ela capta o CO_2 do ar e um açúcar existente na célula.
 - É o primeiro passo para o Ciclo de Calvin.
 - Fixação do CO_2 em sua forma orgânica

FOTOSSÍNTESE E TRANSLOCAÇÃO DE SINTETIZADOS

Efeito do K no substrato (1 e 10 mM) sobre a translocação do Carbono fornecido ao tomateiro (Moorby & Besford, 1983)

PARTE DE PLANTA	DISTRIBUIÇÃO DO C (%)			
	4 h		22 h	
	K ₁	K ₂	K ₁	K ₂
FOLHAS	65	64	52	44
CAULE	33	31	32	25
RAÍZES	0,3	0,6	4,7	9,9
FRUTOS	0,2	5,4	7,7	21,0

FUNÇÕES DO POTÁSSIO

- Movimento Estomático
- Fotossíntese e Translocação dos Sintetizados
- Ativação Enzimática

ATIVAÇÃO ENZIMÁTICA

Enzimas em Plantas Superiores Ativadas pelo Potássio (Wyn Jones & Pollard, 1983)

ENZIMA	REAÇÃO CATALIZADA
Quinase pirúvica	Fosfoenolpiruvato + ADP $\rightarrow$ Piruvato + ATP
8-Fosfofrutoquinase	Frutose 6-P + ATP $\rightarrow$ Frutose 1,6DiP + ADP
Sintetase de Succinil-CoA	Succinato + CoA + ATP $\rightarrow$ Succinil-CoA + ADP + Pi
Sintetase de Glutamil-Cisteína	Glutamato + Cisteína + ATP $\rightarrow$ Glutamil-Cisteína + ADP + Pi
Sintetase de ADP-Glucose-Amido	ADP-Glucose + (1,4 α D-Glucosil) ₈ $\rightarrow$ (1,4 α D-Glucosil) ₈₊₁ + ADP
Pirofosforilase de ADP-Glucose	ATP + D-Glucose 1-P $\rightarrow$ Ppi + ADP-Glucose
Fosfohidrolase de Pirofosfato	H ₂ O + PPi $\rightarrow$ 2Pi
Fosfohidrolase de ATP	H ₂ O + ATP $\rightarrow$ ADP + Pi

FUNÇÕES DO POTÁSSIO

- Movimento Estomático
- Fotossíntese e Translocação dos Sintetizados
- Ativação Enzimática
- Metabolismo do Nitrogênio

METABOLISMO DO NITROGÊNIO

Teores de aminoácidos, aminas, N total, proteínas e potássio em folhas de Gergelim, influenciados pelo nível de K (Adaptado de Crocomo & Basso, 1974)

COMPONENTE	mmol/g M.S		COMPONENTE	% na M.S.	
	+ K	- K		+ K	- K
ARGININA	72	115	N TOTAL	1,6	2,8
CITRULINA	118	377	POTÁSSIO	3,0	0,5
ORNITINA	45	117	PROTEÍNA*	572,0	235,0
AGMATINA	20	29	* mg/100 mg N TOTAL		
N-CARBAMIL-PUTRESCINA	26	92			
PUTRESCINA	114	1000			

Acúmulo de aminoácidos livres inclusive da tirosina, oxidada para dihidroxifenilalanina (DOPA) causando a cor escura



METABOLISMO DO NITROGÊNIO

Deficiência de potássio e acumulação de formas de Nitrogênio em Alfaca

Efeito	Tratamento	
	Completo	Deficiente em K
NO_3^-	13	225
NO_2^-	5	79
NH_4^+	75	116

FUNÇÕES DO POTÁSSIO

- Movimento Estomático
- Fotossíntese e Translocação dos Sintetizados
- Ativação Enzimática
- Metabolismo do Nitrogênio
- Crescimento Meristemático
- Resistência

RESISTÊNCIA

Doenças de plantas minimizadas pelo adequado suprimento de Potássio (Huber & Arny, 1985)

CULTURA	DOENÇA	PATÓGENO
ALGODÃO	MANCHA ANGULAR	<i>Xanthomonas</i>
BATATA	REQUEIMA	<i>Phytophthora</i>
CANA-DE-AÇÚCAR	MANCHA OCULAR	<i>Helminthosporium</i>
MILHO	PODRIDÃO BRANCA	<i>Diplodia</i>
REPOLHO	PODRIDÃO MOLE	<i>Erwinia</i>
SOJA	MANCHA DAS FOLHAS	<i>Cercospora</i>
TOMATE	MURCHA BACTERIANA	<i>Pseudomonas</i>

K^+ x Doenças

- Menor efeito de estresses hídrico
- Menor acúmulo de açúcares e aminoácidos
- Menor pH da rizosfera = aumento da absorção de Mn, Zn e Si pelas plantas e diminuição do mal-do-pé em trigo

FUNÇÕES DO POTÁSSIO

- Movimento Estomático
- Fotossíntese e Translocação dos Sintetizados
- Ativação Enzimática
- Metabolismo do Nitrogênio
- Crescimento Meristemático
- Resistência
- Qualidade de Produtos

EXIGÊNCIA DAS CULTURAS

Extração e exportação de K

Cultura	Conteúdo de K	
	Planta inteira	Removido pela
	kg t ⁻¹	
Arroz (irrigado)	33,4	5,3
Milho	18,2	4,8
Trigo (sequeiro)	19,9	3,5
Algodão	24	6,9
Café	52	27
Feijão	60,5	15,0
Soja	32,1	18,8
Cana-de-açúcar	110	40

Pauletti, 2004; Malavolta, 1980.

Faixas de teores adequados de K em folhas em algumas plantas cultivadas.

Cultura	Teor foliar adequado (g kg ⁻¹)
Abóbora	25-45
Algodão	15-25
Alfafa	20-40
Arroz	15-40
Aveia	15-30
Banana	35-54
Batata	30-65
Café	18-25
Cana-de-açúcar	10-16
Feijão	20-24
Maçã	15-20
Melancia	25-40
Milho	17-35
Soja	17-25
Tomate	30-50

DEFICIÊNCIAS E RESPOSTAS DAS CULTURAS



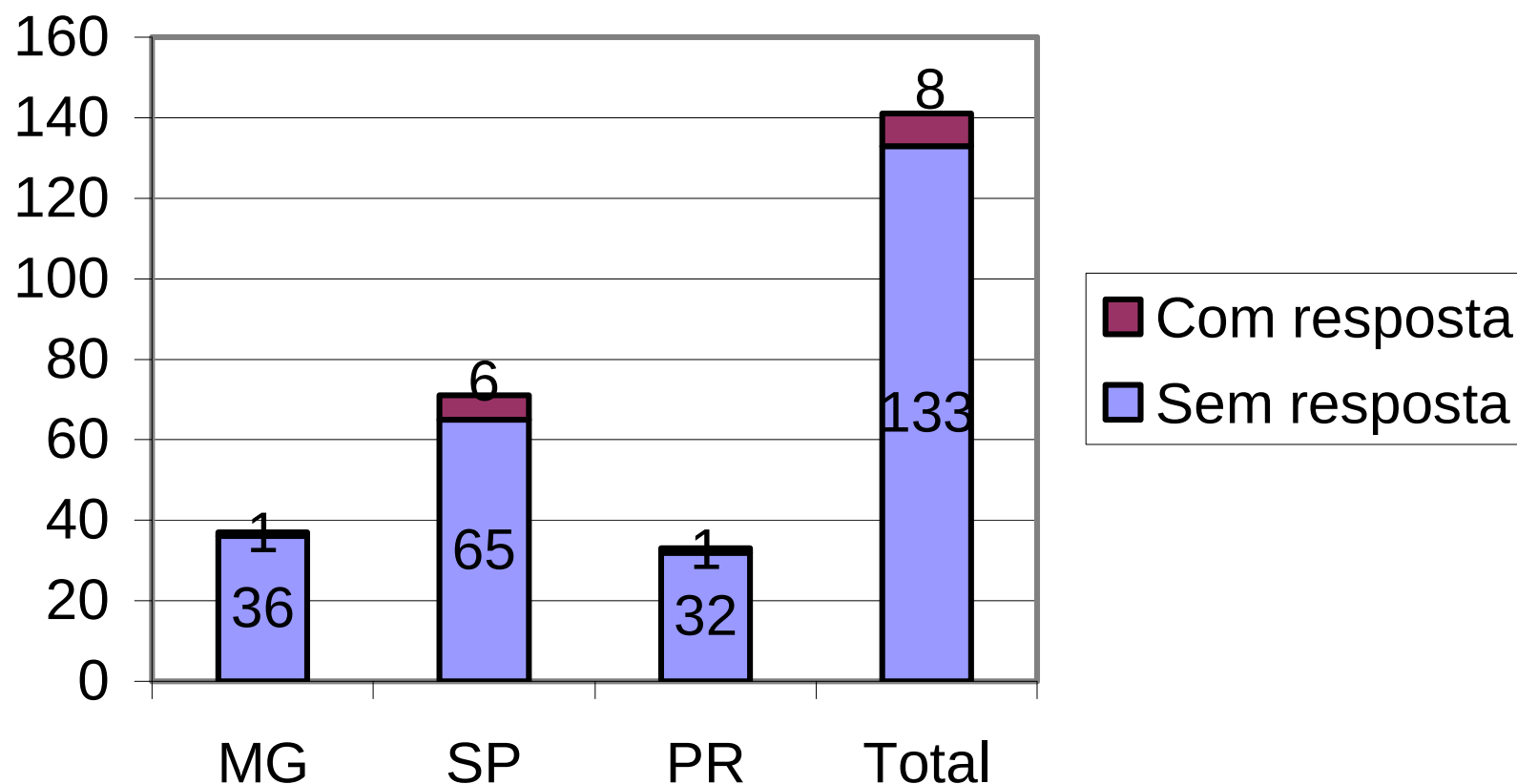
Feijão



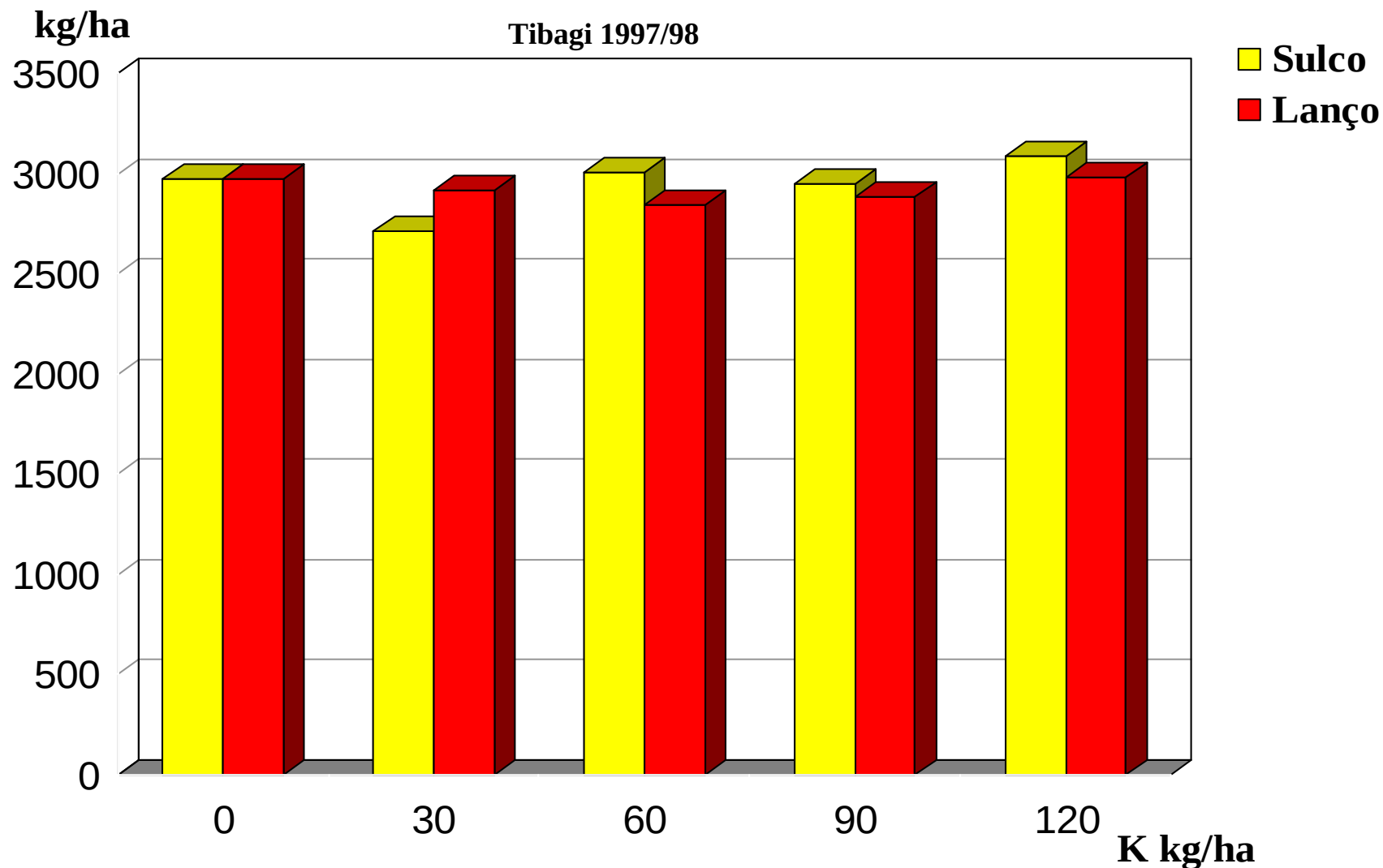
Diógenes Emanuel Fauro; Eduardo Back; Fabiano Lorenzi; Felipe Schadeck Fiorentin; Guilherme Luís; Scaramella Gonçalves; Gustavo Soares Almeida; João Guilherme Batista Hess

Feijão:

Número de ensaios com e sem resposta a aplicação de K na cultura do feijoeiro, por estado. Dados citados por Vieira e Vieira, 2005.



K no sulco e cobertura x produtividade de Feijão



Carioca – novembro ; K 0-05cm= 5,1 g/kg, 5-10cm=4,3 e 10-30 cm=2,6 mmol_c dm⁻³

MILHO



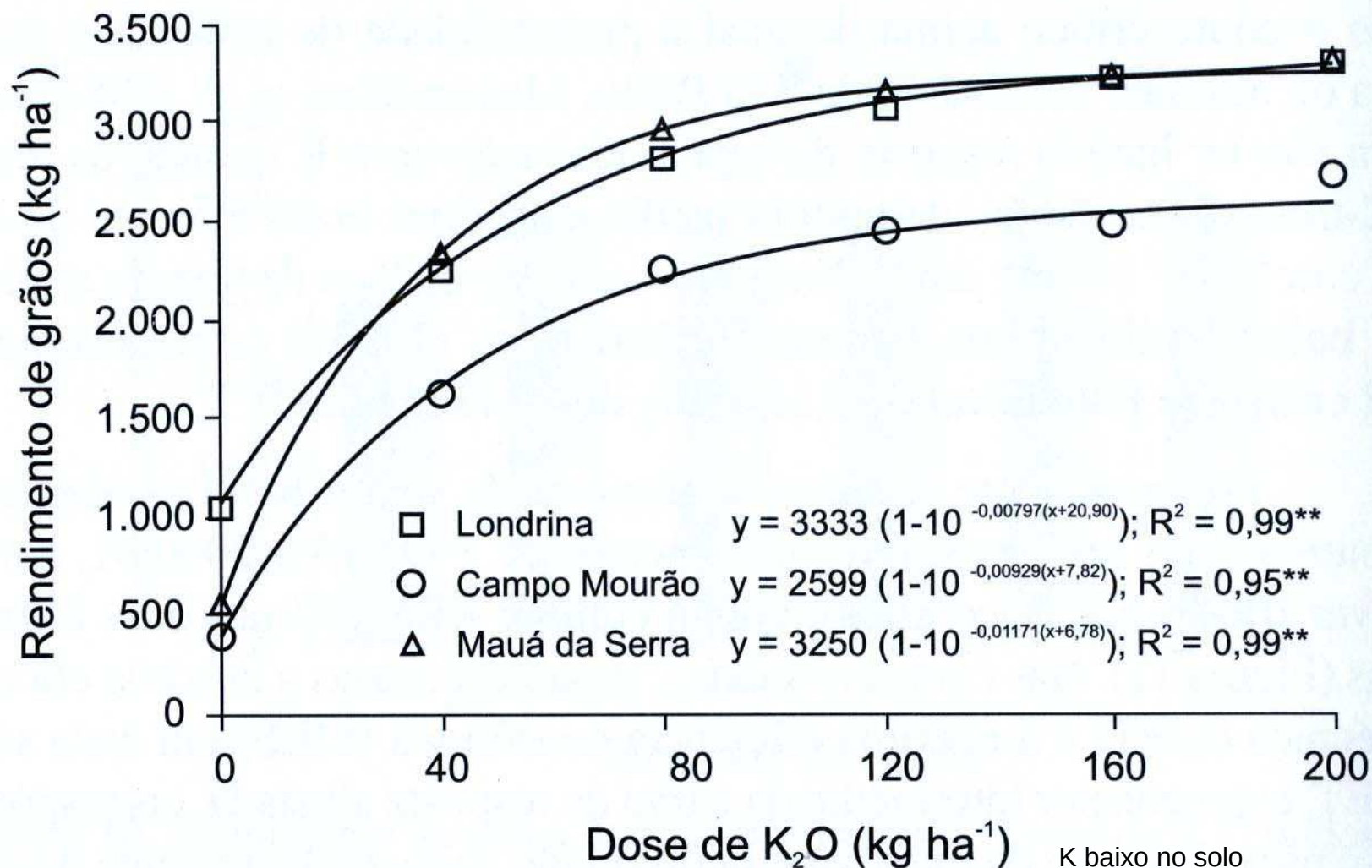


Deficiência de K
milho

Deficiência de K soja



Soja

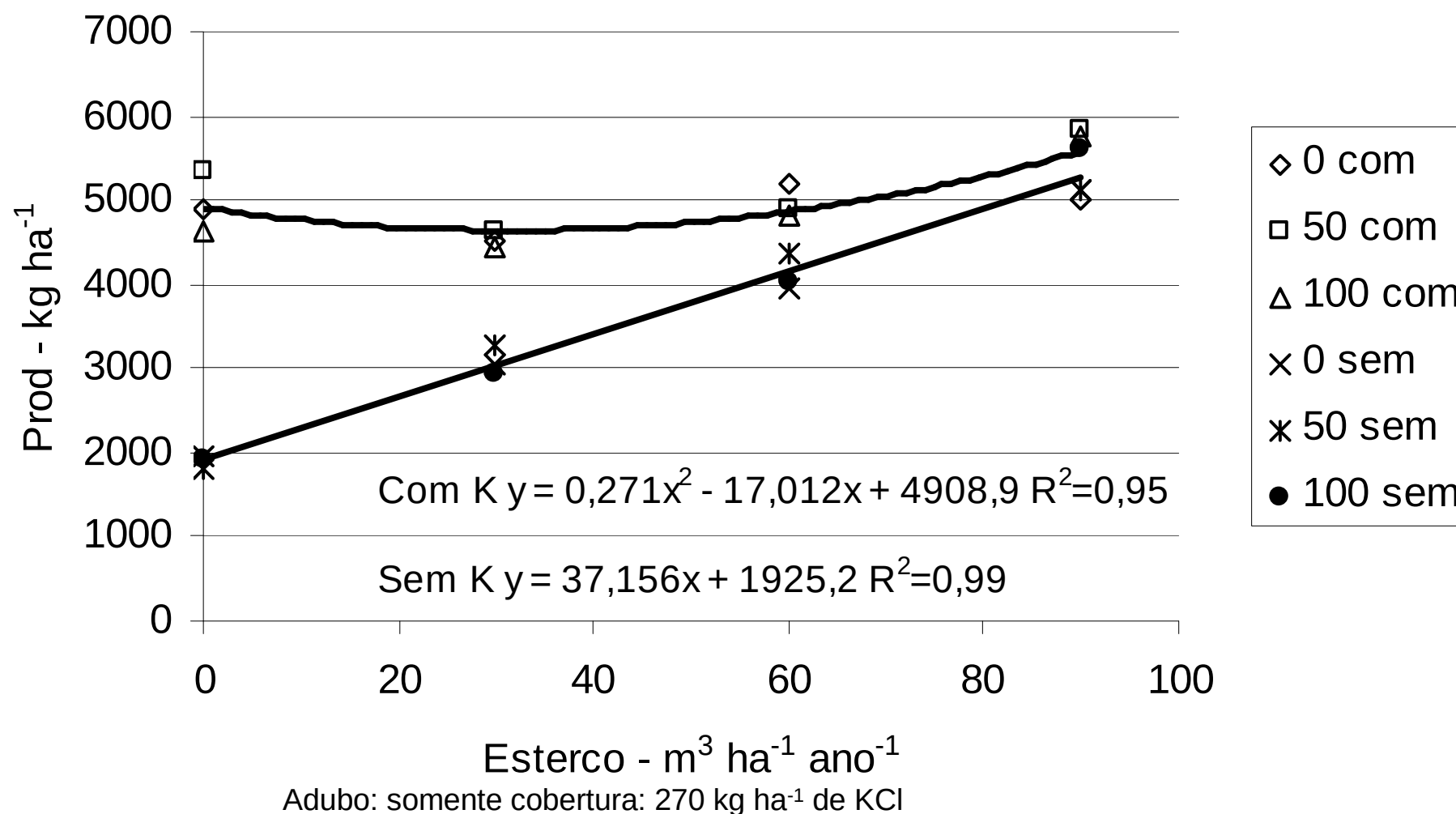


Silagem

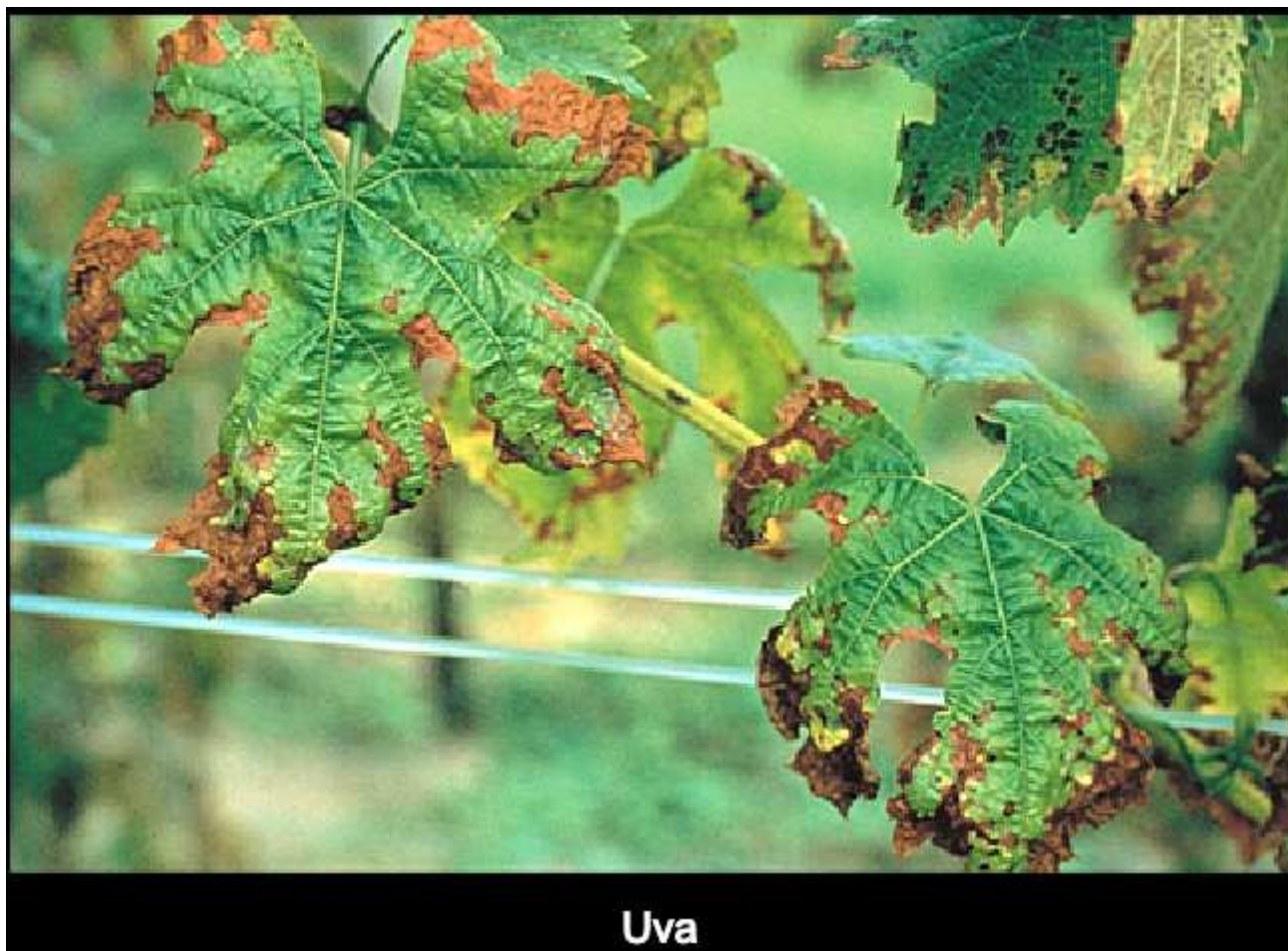


Soja – 2005/06

Após vários anos de silagem



DEFICIÊNCIAS DE POTÁSSIO



Banana

- Como é um nutriente móvel na planta, os primeiros sintomas aparecem nas folhas mais velhas, clorose amarelo-laranjada e necroses nos bordos, dobramento do limbo na ponta da folha, com aspecto encarquilhado e seco
- No cacho: cachos raquíticos, frutos pequenos e finos, maturação irregular e polpa pouco saborosa



K no Tomateiro



Folhas velhas com bordas amarelas.

Doença x Deficiência de K



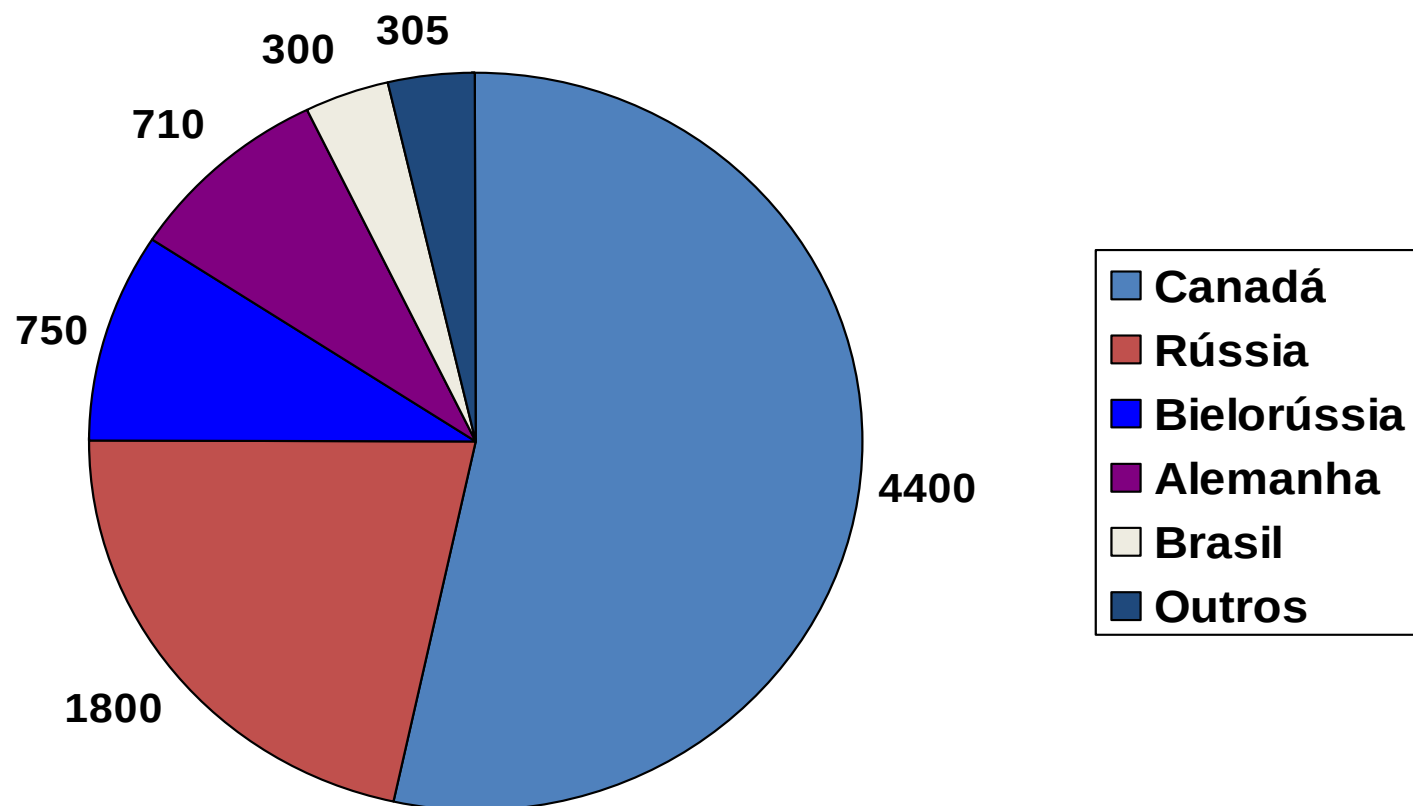
Antracnose

ADUBOS POTÁSSICOS

Adubos Potássicos	Percentagem				
	K ₂ O	N	MgO	S	Cl
Cloreto de Potássio	60 – 62	-	-	-	47
Sulfato de Potássio	50	-	-	18	-
Nitrato de Potássio	44	13	-	-	-
Sulfato de Potássio e Magnésio	22	-	18	22	-
Salitre Potássico	14	15	-	-	-
Cinzas de Madeira	5	-	2	-	-

RESERVAS MUNDIAIS DE POTÁSSIO (milhões de t)

(reservas que atualmente são economicamente viáveis)



RESERVAS DE POTÁSSIO NO BRASIL



RESERVAS DE POTÁSSIO NO BRASIL

Estado	K ₂ O (milhões t)
Amazonas	222.011
Sergipe	715.253
Tocantins	6
Total	937.270



ESTERCOS



Material orgânico	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matéria seca
	----- % (m m ⁻¹) ² -----			
Cama de aves (1) ³	3,0	3,0	2,0	70
Cama de aves (3)	3,2	3,5	2,5	70
Cama de aves (6)	3,5	4,0	3,0	70
Esterco sólido de suínos	2,1	2,8	2,9	25
Esterco fresco de bovinos	1,5	1,4	1,5	15
Esterco de ovinos	1,4	1,0	2,0	65
	----- kg m ⁻³ de churume -----			
Esterco líquido de suínos	4,5	4,0	1,6	6
Esterco líquido de bovinos	1,4	0,8	1,4	4,6

Esterco

Material orgânico	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Matéria seca
	kg m ⁻³ de churume			%
Esterco líquido de suínos	4,5	4	1,6	6
Esterco líquido de bovinos	1,4	0,8	1,4	4,6



- Entrada d'água
- Alimentação
- Armazenamento
- Número de lotes

LIBERAÇÃO DOS NUTRIENTES



Nutriente	Índice e eficiência		
	1º cultivo*	2º cultivo*	3º cultivo*
N	0,5	0,2	-
P ₂ O ₅	0,6	0,2	-
K ₂ O	1	-	-

*Cultivos em relação ao aproveitamento do fertilizante aplicado para os três cultivos.

Fonte: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994.

EXCREÇÃO DOS NUTRIENTES

Ingeridos de pastagens

Elemento	Urina	Fezes
N*	76-82	24-18
K	70-90	30 - 10
P	traços	95+
Mg	30 - 10	70-90
S	6 - 90	10 - 94
Ca	traços	99
Fe	traços	95+
Mn	traços	95+
Zn	traços	95+
Cu	traços	95+
B	95+	traços

POTÁSSIO - REVISÃO

Forma Absorvida: K^+

Mobilidade de Redistribuição: Móvel

Teores Médios: 10 - 30 g kg^{-1}

Funções nas Plantas: Ativador Enzimático, Regulação Osmótica

Características de deficiência: Queima do bordo das folhas mais velhas



BALANÇO DE NUTRIENTES

EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES MILHO

Elemento	Extração	Exportação	%
----------	----------	------------	---

		kg/t de grão		
Silagem planta inteira	N	24,9	15,8	63
	P ₂ O ₅	9,8	8,7	89
	K ₂ O	21,8	5,8	26
	Ca	3,9	0,5	12
	Mg	4,4	1,5	36
		g/t de grão		
	S	2,6	1,1	45
	Fe	235,7	11,6	5
	Cu	10	1,2	12
	Zn	48,4	27,6	57
	B	18	3,2	18
	Mn	42,8	6,1	14
	Mo	1	0,6	63

Silagem
grão úmido
e grão

Exportação

Cultura/objetivo*	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha		
Azevém/pré-secado	68,5	16	75,6
Milho/sil. Planta inteira	249	98	218
Milho/sil. Grão úmido	158	87	58
Esterco - 60 m ³ /ano	84	48	84

*Azevém= 5t/ha MS; Milho= 10 t/ha milho grão

Balanço NUTRIENTES

Balanço	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha		
Silagem grão úmido	-143	-55	-49,6
Silagem planta inteira	-234	-66	-210

Azevém= 5 t ha⁻¹ de MS; Milho= 10 t ha⁻¹ grãos; Esterco líquido bovino= 60 m³ ha⁻¹ano⁻¹



Fazer o balanço de K e P

EXERCÍCIO:

Área de produção de grãos:

- Rotação: aveia preta/milho/trigo/soja.
- Adubação: aveia preta= 0; milho= 300 kg ha⁻¹ de 10:30:20; trigo= 200 kg ha⁻¹ de 10:20:20; soja= 200 kg ha⁻¹ de 00:20:20.
- Produtividade (kg ha⁻¹): aveia preta= 4000 de MS; trigo= 3500; soja= 3300; milho= 10000.
- Área de produção de silagem na rotação:
 - Rotação: azevém/milho/azevém/milho
 - Adubação: azevém= 300 kg ha⁻¹ de 10:20:20; milho= 300 kg ha⁻¹ de 10:30:20; esterco líquido bovino= 30 m³ ha⁻¹ safra⁻¹
 - Produtividades safras 1 e 2 (kg ha⁻¹): azevém= 5000 e 6000 de MS; milho= 9000 e 11000 de grãos.