

POTÁSSIO – ABSORÇÃO, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO

*Eurípedes Malavolta -
CENA-USP*

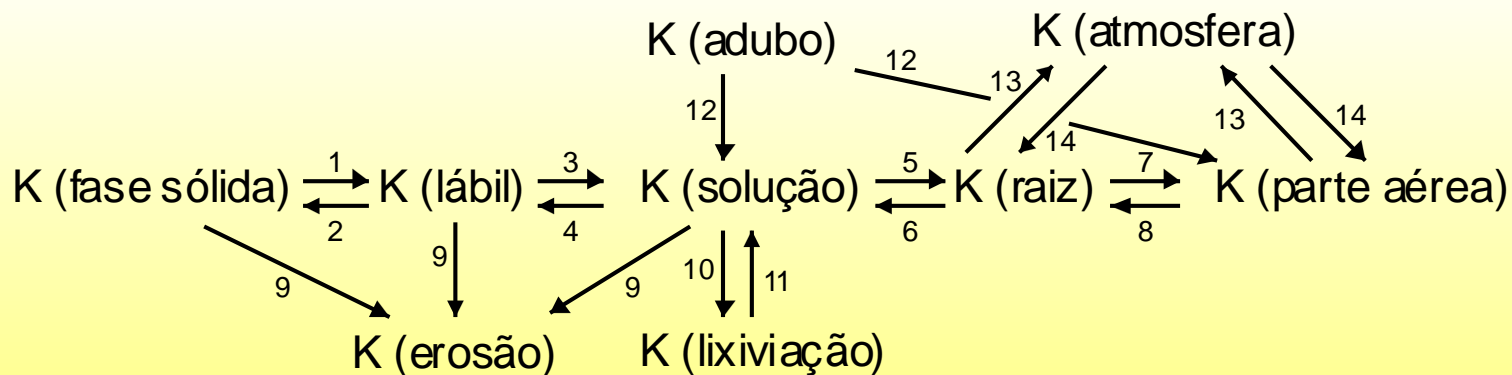
“Manifestly this subject [The chemical elements] constitutes a fundamental aspect of plant nutrition, but not less fundamental are problems of the entry into the roots of these essential chemical elements and their upward movement and distribution in the plant”.

(HOAGLAND, 1944)



SIMPÓSIO SOBRE
POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA





- 1 - intemperismo, liberação
- 2 - fixação
- 3 - dessorção
- 4 - adsorção
- 5 - absorção
- 6 - exsudação
- 7 - transporte
- 8 - redistribuição
- 9 - erosão
- 10 - lixiviação
- 11 - ascensão capilar
- 12 - adubação
- 13 - queima e ascensão
- 14 - deposição

O potássio no sistema solo-planta-atmosfera.

Solubilidade das bases em materiais vegetais

Planta	Ca			Mg			K		
	Total % M.S.	% recuperação		% M.S.	% recuperação		% M.S.	% recuperação	
		H ₂ O	HCl 1%		H ₂ O	HCl 1%		H ₂ O	HCl 1%
Alfafa	1,29	40	97	0,31	81	100	1,42	83	100
Trigo sarraceno									
Folhas	1,68	1,8	43	0,77	30	91	2,14	81	98
Caules	0,81	2,5	84	0,28	39	93	6,51	82	92
Milho parte aérea	0,67	65	100	0,41	81	100	5,33	89	100
Cebola parte aérea	1,18	28	100	0,35	63	100	4,83	83	99
Ervilha parte aérea	1,79	59	100	0,47	72	100	3,07	95	100
Batata parte aérea	1,30	4,6	69	0,39	64	100	5,92	88	96
Abobrinha parte aérea	3,51	23	88	0,65	31	100	2,34	97	100
Tomateiro parte aérea	2,35	7,7	56	0,56	55	89	5,44	94	100
Nabo parte aérea	2,46	58	100	0,51	67	90	3,28	90	100

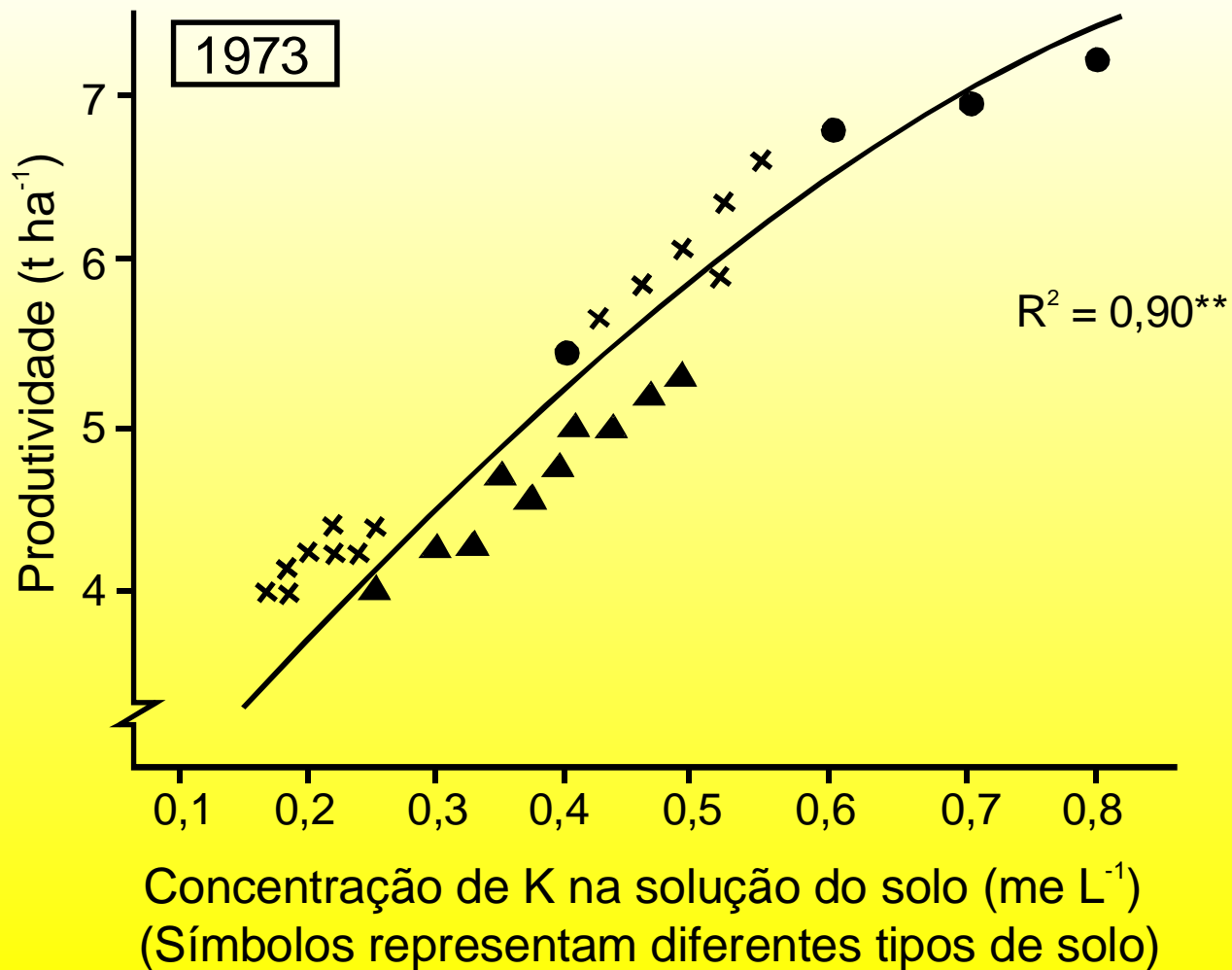
Dados não publicados. Division of Plant Nutrition, U.C., Berkeley (1952).

Contribuição relativa dos processos de contato em solos norte-americanos (BARBER, 1966) e nos do Rio Grande do Sul (VARGAS et al., 1983)

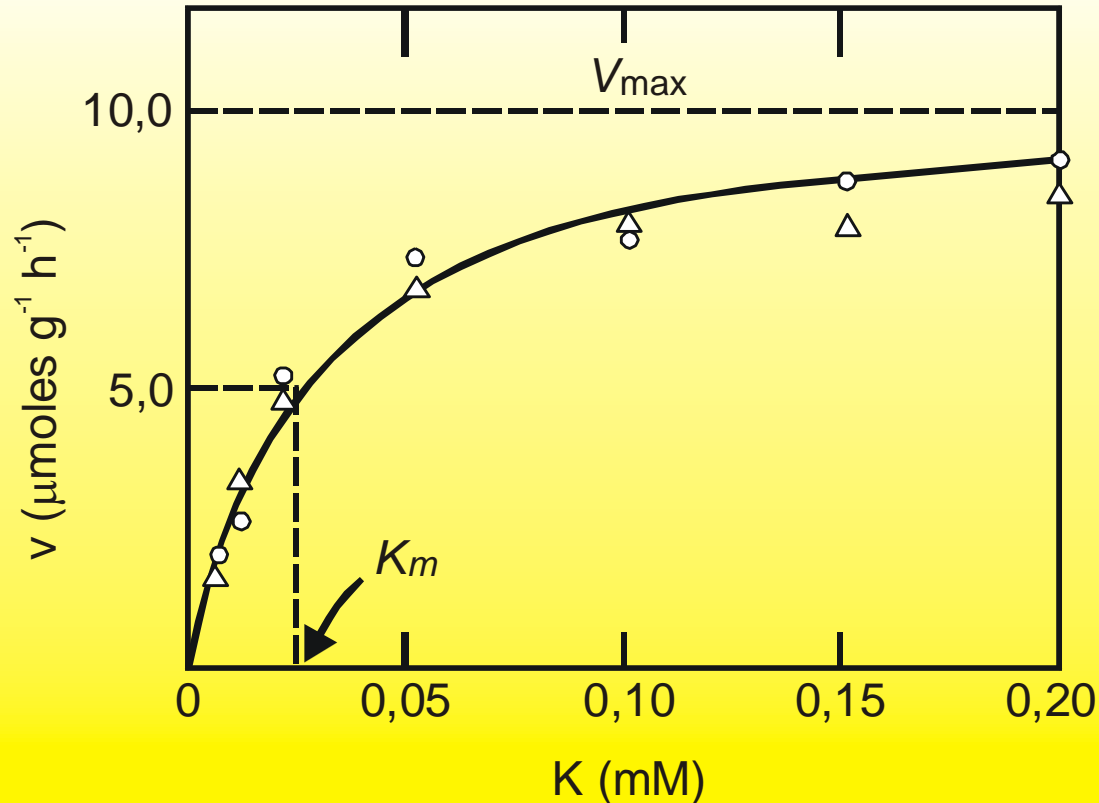
Íon	% do total		
	Interceptação	Fluxo de massa	Difusão
----- Solo barro limoso dos Estados Unidos -----			
N-NO ₃	1	99	0
P-H ₂ PO ₄ ⁻	2	4	94
K-K ⁺	2	26	72
----- 12 solos do Rio Grande do Sul -----			
P-H ₂ PO ₄ ⁻	3,5	2,6	94
K-K ⁺	0,9	10,1	89

Composição da solução do solo

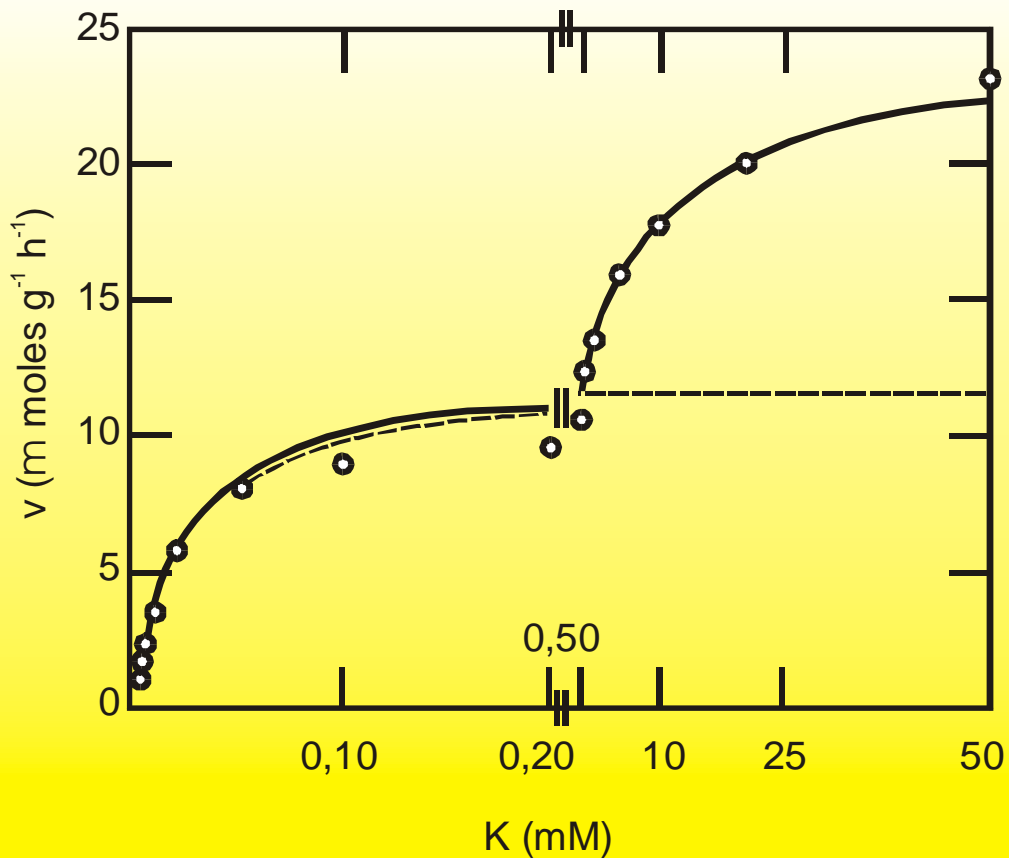
Elemento	Faixa geral	Solos ácidos	Solos calcários
	----- moles L ⁻¹ x 10 ³ -----		
N	0,16-55	12,1	13
P	0,001-1	0,007	0,03
K	0,2-10	0,7	1
Ca	0,5-38	3,4	14
Mg	0,7-100	1,9	7
S	0,1-150	0,5	24
Na	0,4-150	1,0	29
Cl	0,2-230	1,1	20



Correlação entre concentração de K na solução do solo e produção de trigo.



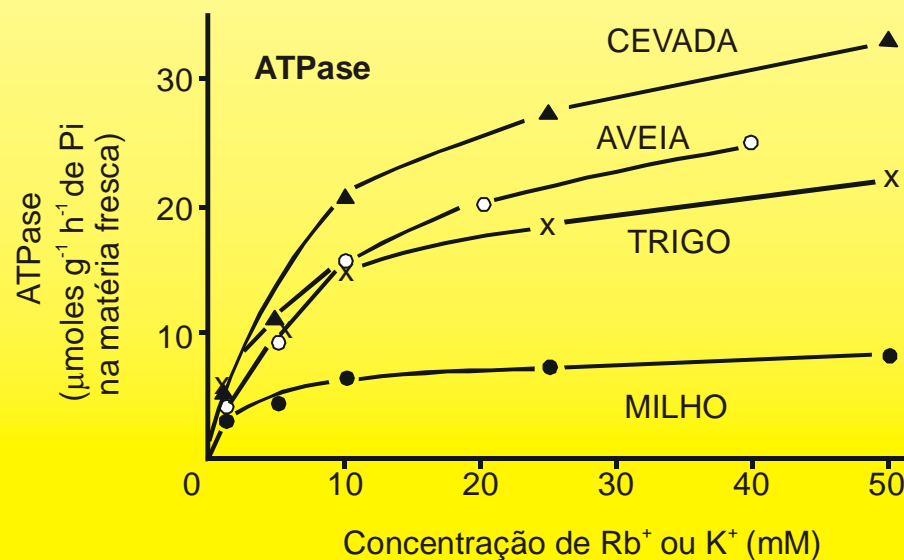
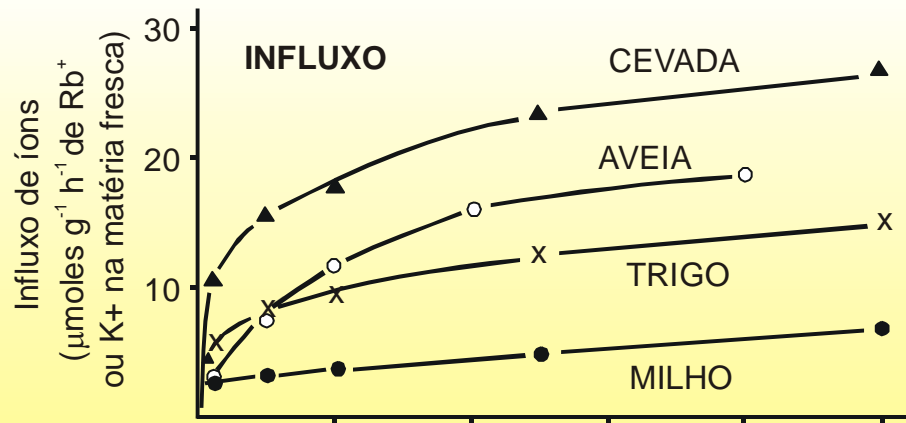
Velocidade, v , de absorção de potássio por raízes de cevada como função da concentração de KCl (o) ou K_2SO_4 (Δ) na solução. Concentração de CaCl_2 ou $\text{CaSO}_4 = 0,5 \text{ mM}$. A curva é uma representação gráfica da equação de Michaelis-Menten. $K_m = 0,023 \text{ mM}$; $V_{\text{max}} = 10,0 \mu\text{moles g de peso da matéria fresca}^{-1} \text{ hora}^{-1}$.



Velocidade, v , de absorção de potássio por raízes de cevada como função da concentração de KCl na solução. Concentração de $\text{CaCl}_2 = 0,5 \text{ mM}$. A escala horizontal (concentração) está quebrada entre 0,20 e 0,50 mM. A linha sólida a baixas concentrações, que continua pela linha quebrada, é uma representação gráfica da equação de Michaelis-Menten. $K_m = 0,021 \text{ mM}$; $V_{\text{max}} = 11,9 \mu\text{moles g de peso da matéria fresca}^{-1} \text{ hora}^{-1}$.

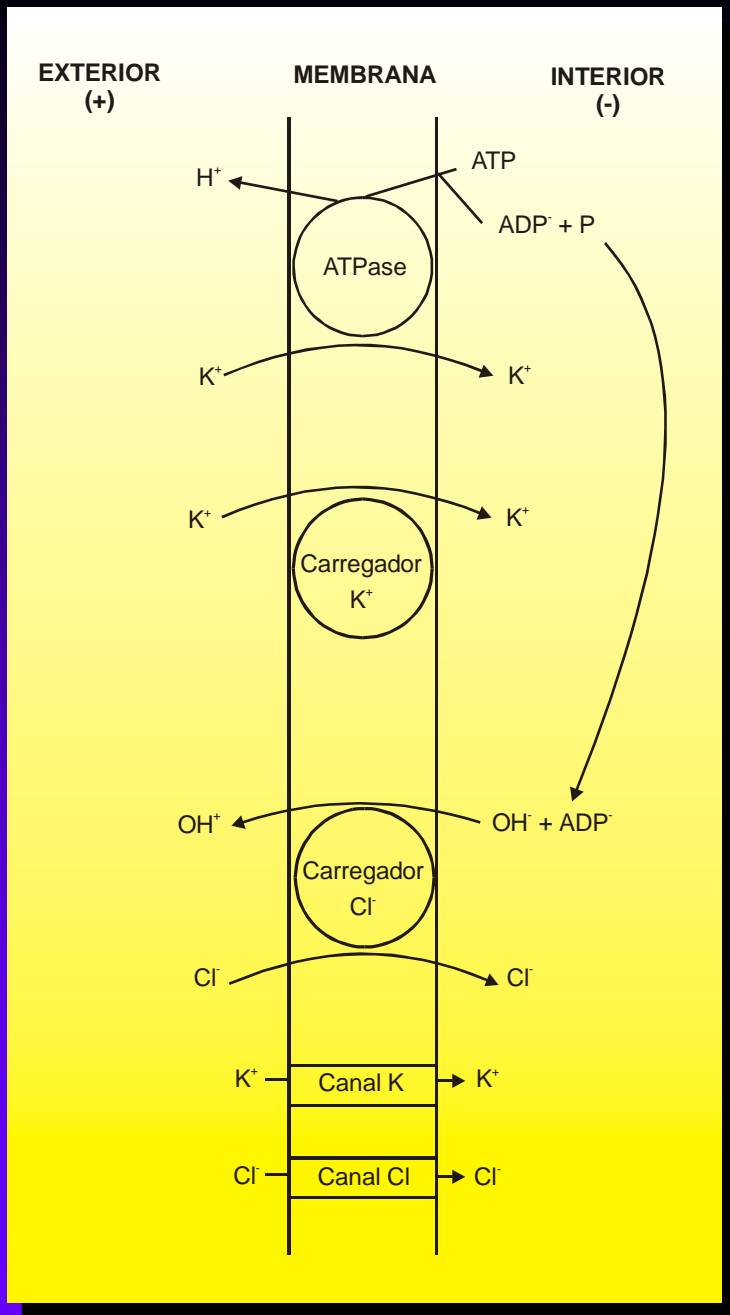
Constantes de Michaelis-Menten para o complexo K-carregador

Íon	Km		
	Planta	Concentrações altas	Concentrações baixas
Rb ⁺	Cevada	4 x 10 ⁻³ M	10 x 10 ⁻⁵ M
		4 x 10 ⁻³ M	-
		2 x 10 ⁻³ M	4 x 10 ⁻⁶ M
		-	12 x 10 ⁻⁶ M
		-	4 x 10 ⁻⁵ M
		16 x 10 ⁻³ M	16-18 x 10 ⁻⁶ M
K	Cevada	1 x 10 ⁻³ M	3 x 10 ⁻⁶ M
		4 x 10 ⁻³ M	3 x 10 ⁻⁵ M
	Milho	0,3 x 10 ⁻³ M	-
		0,2 x 10 ⁻³ M	2 x 10 ⁻⁶ M
	Cevada	11 x 10 ⁻³ M	21 x 10 ⁻⁶ M
		5 x 10 ⁻³ M	-
		-	9 x 10 ⁻⁶ M
	Soja	0,5 x 10 ⁻³ M	-
	Trigo	-	35 x 10 ⁻⁶ M

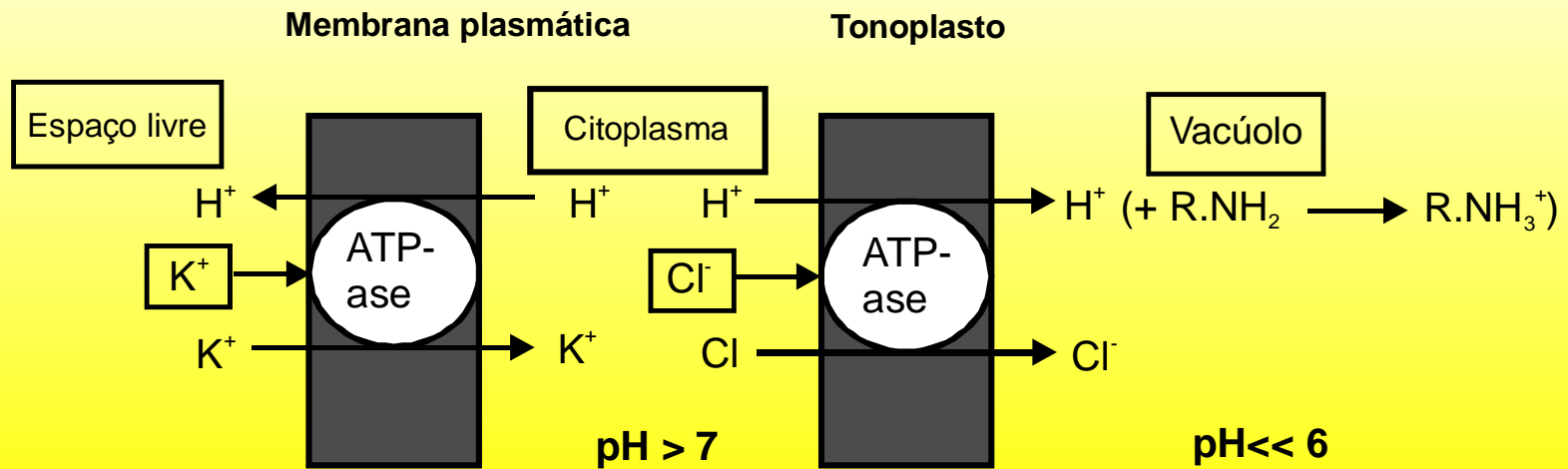


Correlação entre absorção de K^+ ou Rb^+ e K^+ ou Rb^+ estimulada pela atividade da ATPase de raízes destacadas de milho, trigo, aveia e cevada ($r = 0,94$).

Fonte: Fisher et al. (1970).



Proposta de modelo para ilustrar a absorção do KCl.



Esquema das funções estimulantes do potássio e do cloro sobre a atividade da ATPase na célula radicular de milho.

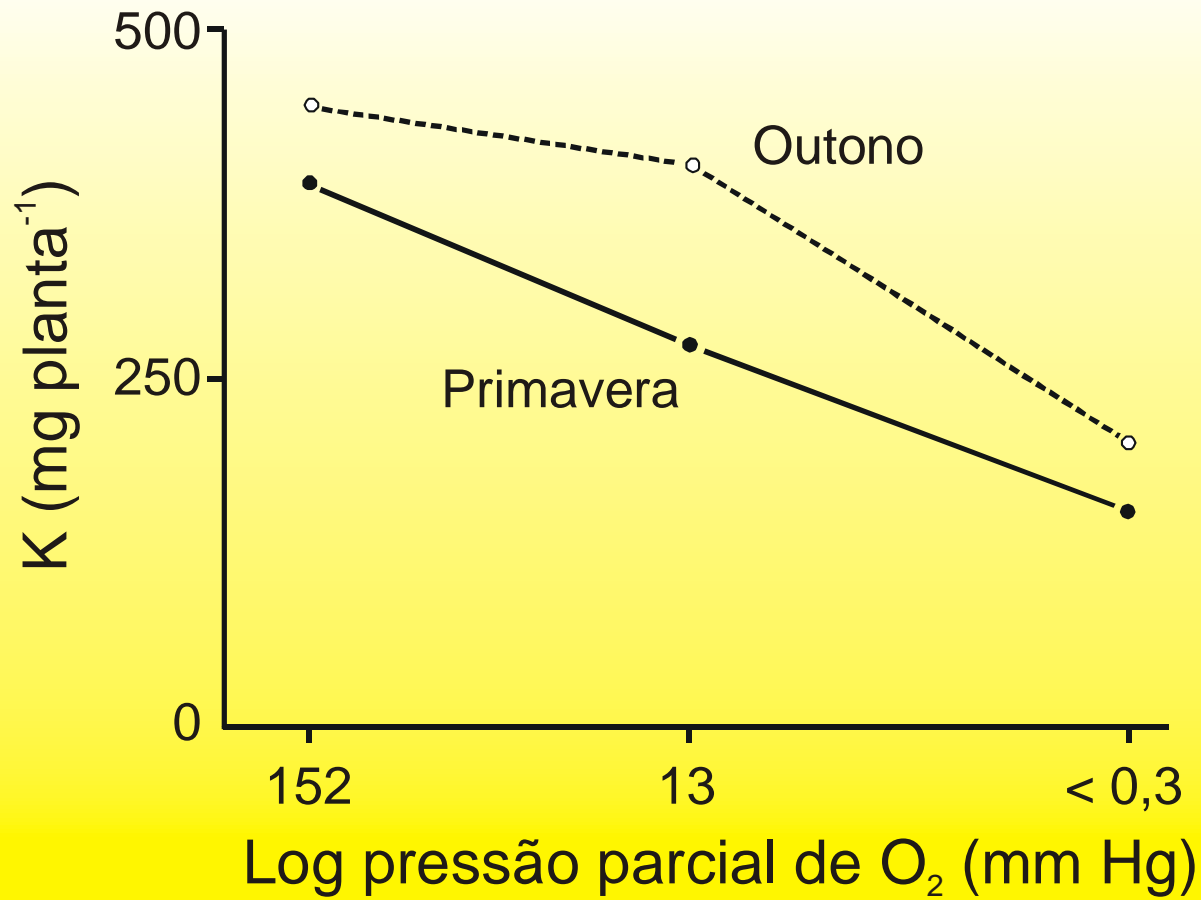
Fonte: MARSCHNER (1995).

Aspectos da biologia molecular de absorção do potássio

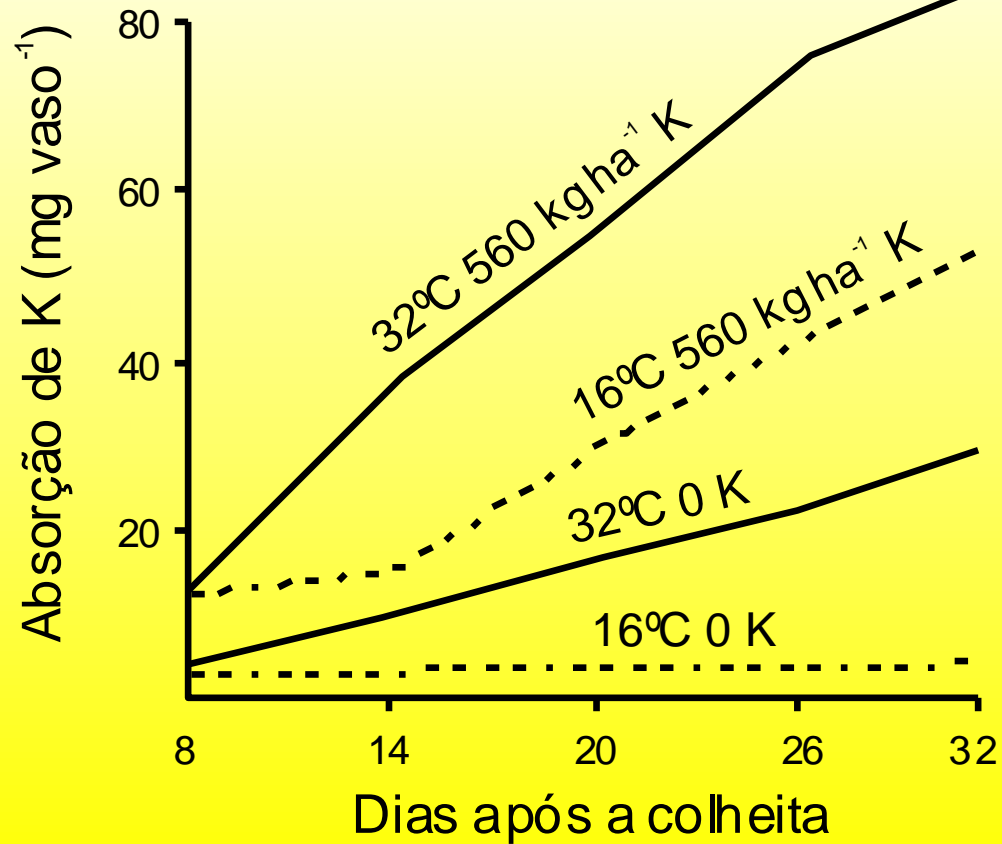
Aspecto	Referências
<u>Identificação de dois canais para K, AKTI e KAT em <i>Arabidopsis</i></u> (complementação funcional em levedura deficiente na absorção de potássio)	SENTENAC et al. (1992) ANDERSON et al. (1992)
<u>Expressão do gene HKTI na raiz e na folha</u>	SCHACHTMAN & SCHROEDER (1994)
<u>Identificação do carregador HKTI de alta afinidade</u> (complementação de levedura deficiente na absorção de K com o DNA da raiz de trigo)	FU & LUAN (1998)
<u>Variação na conformação da proteína carregadora</u> - mudança no mecanismo de alta para baixa afinidade	SCHACHTMAN (2000)
<u>Família de carregadores HAK/DUP</u> - catalisando mecanismo de alta afinidade	SCHACHTMAN & SCHROEDER (1994)

Fatores que influenciam a absorção do potássio

Meio	Fator	Referências
Externo	Concentração	HOAGLAND & BROYER (1936)
	Cálcio	VIETS (1942)
	Sódio	EPSTEIN et al. (1963)
	Tensão de O₂	HOAGLAND & BROYER (1936) LABANAUSKAS et al. (1965) LAWTON (1945)
	Temperatura	HOAGLAND & BROYER (1936) WEBER & CALDWELL (1964)
	Umidade do solo	PLACE & BARBER (1964)
Interno	Concentração na raiz	HOAGLAND & BROYER (1936) LEONARD (1985) LAUCHLI (1989)
	Carboidrato na raiz	HOAGLAND & BROYER (1936)
	Raio, comprimento, crescimento e morfologia da raiz	BALIGAR & BARBER (1978)
	Velocidade de absorção de água	BALIGAR & BARBER (1979)
	Variedade	MALAVOLTA & AMARAL (1978)



Efeito da tensão de O₂.



A absorção de potássio por sorgo é muito maior a 32°C do que a 16°C com zero ou com K adicionado ao solo (WEBER & CALDWELL, 1964).

Fatores que influenciam a absorção foliar de nutrientes

Fator

Efeito

Externos

Umidade	Hidratação da cutícula - maior absorção
Umidade atmosférica	Hidratação da cutícula Excesso - escorrimento
Temperatura	Pouca evaporação da solução → concentração → fitotoxicidade $Q_{10} = 2^{(1)}$ Excesso - evaporação da solução
Luz	Fotossíntese - ATP Mais cera na cutícula - menor absorção
Solução	
pH	< 6 → < absorção de cátions > 6 → < absorção de ânions
Concentração	Absorção aumenta
Íons acompanhante	K > Mg > Ca Cl > NO ₃ > SO ₄ > H ₂ PO ₄
Outro íon	Inibição Sinergismo
Molhantes	Hidratação da cutícula Diminuição da tensão superficial - maior contato gota/superfície, maior absorção

Internos

Superfície foliar	
Pêlos	Aumento
Epiderme superior	Menor absorção
Epiderme inferior	Maior absorção
Hidratação da cutícula	Aumento na absorção
Idade da folha	Absorção diminui com a idade
Espécie e variedades	Maior ou menor absorção

(1) Q_{10} = velocidade de absorção a 30°C/velocidade a 20°C.

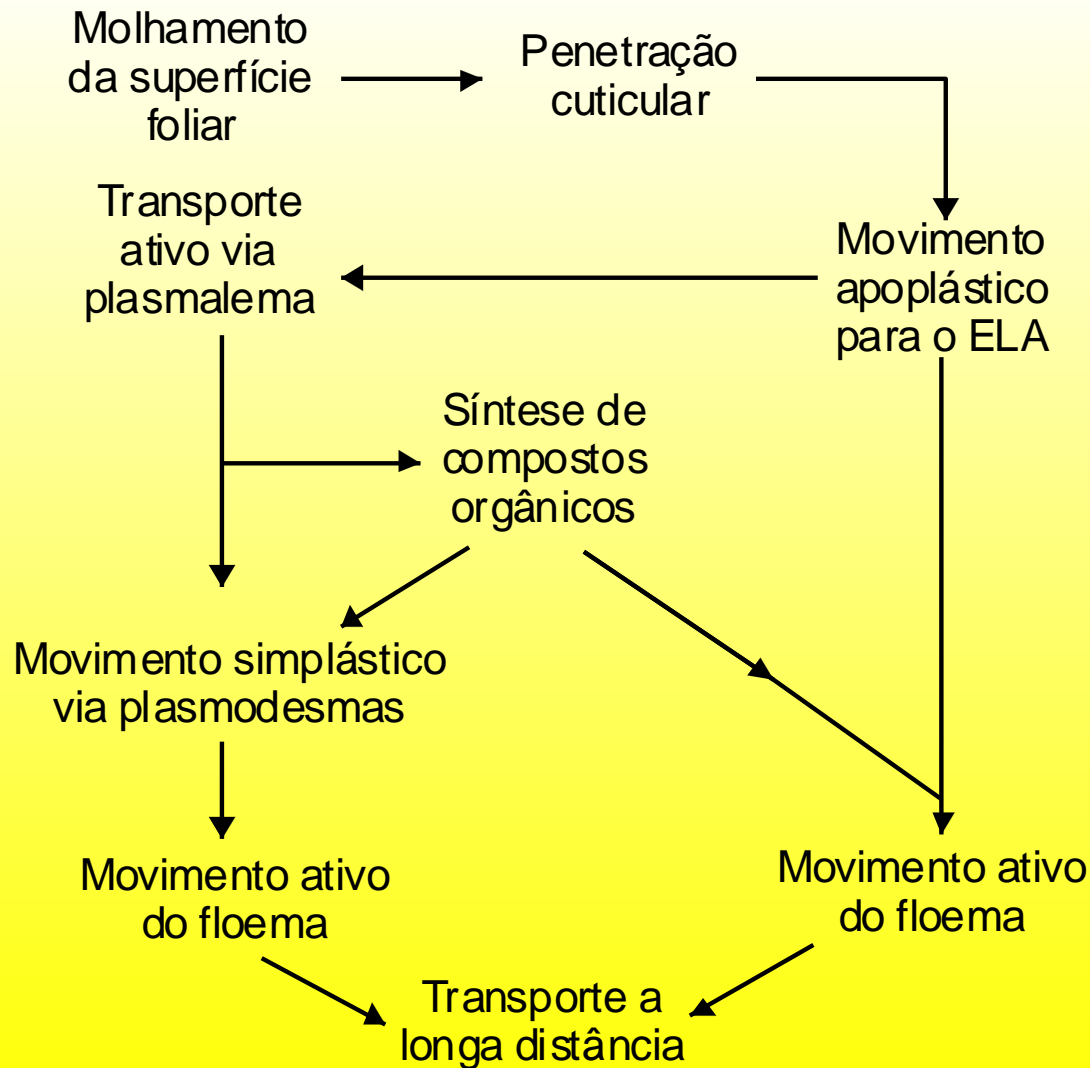
Aplicações de K na folha

Cultura	Finalidade	Referências
Algodão	Fornecimento em condições de baixo aproveitamento por via radicular Senescência precoce Qualidade da fibra	BEDNARZ & OOSTERHUIS (1996) WRIGHT (1999) OOSTERHUIS (2001)
Cafeeiro	Aumentar % de cereja	E. MALAVOLTA; H. CASALE; G.B. FREIRE; C.R. PICCIN e J. SANTANA (não publicado)
Cana	Fornecimento depois que a cana “fecha”, por meio de avião agrícola	MALAVOLTA (1982)
Citros	Correção da deficiência, melhora da qualidade da fruta para mesa	PAGE et al. (1963) CUTULI (1966) EMBLETON & JONES (1968) CALVERT (1969) BAR-AKIVA & GOTFRIED (1971) COHEN (1976)

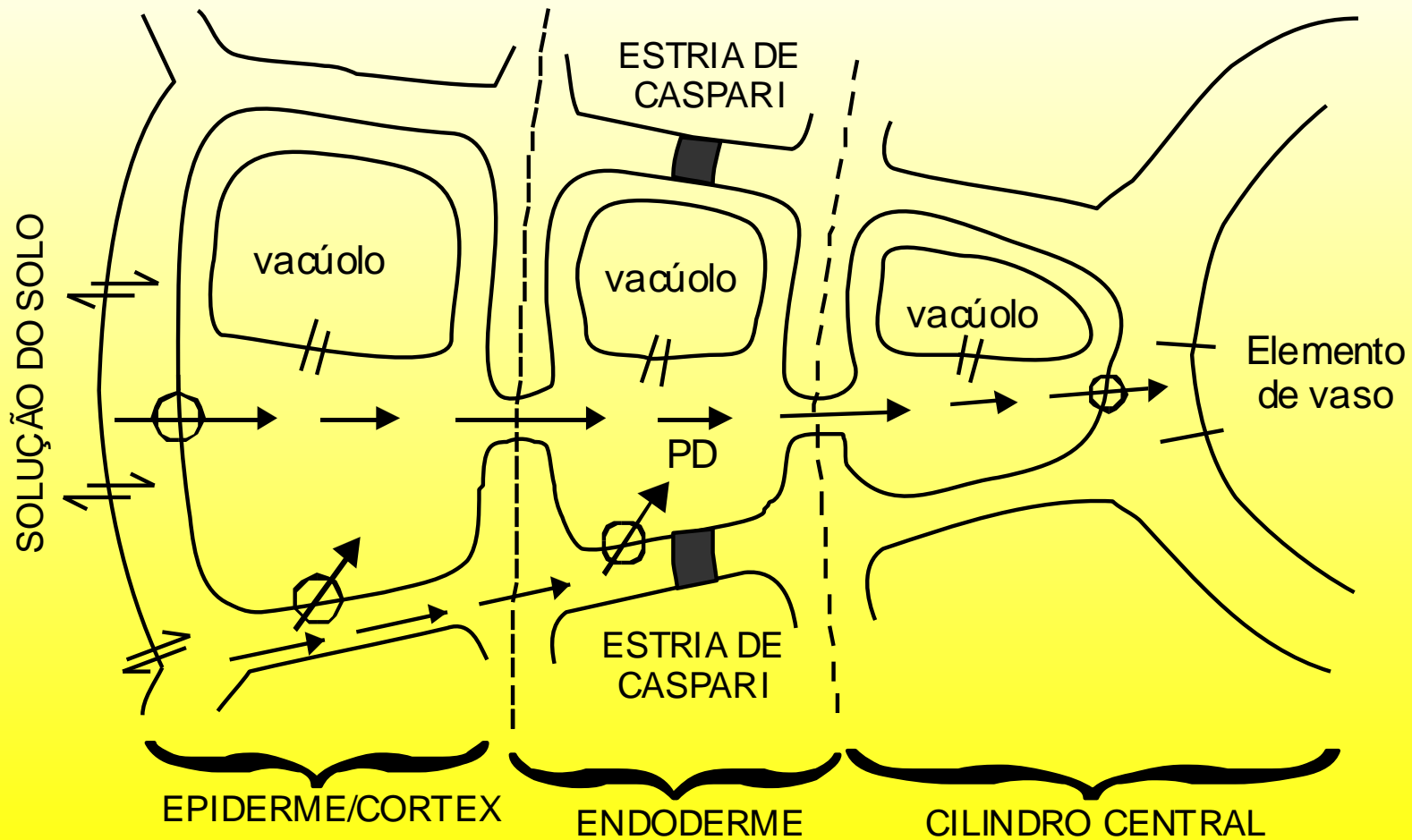
Absorção e transporte de K
(como KCl aplicado às folhas para o fruto do cafeeiro¹)

K ₂ O L ⁻¹	Folhas		Frutos	
	1ª amostragem	2ª amostragem	1ª amostragem	2ª amostragem
	----- % K -----			
0	2,94	3,02	3,05	3,08
2,25	3,20	3,42	3,42	3,60
4,50	3,40	3,52	3,50	3,75
9,00	3,55	3,65	3,65	3,80

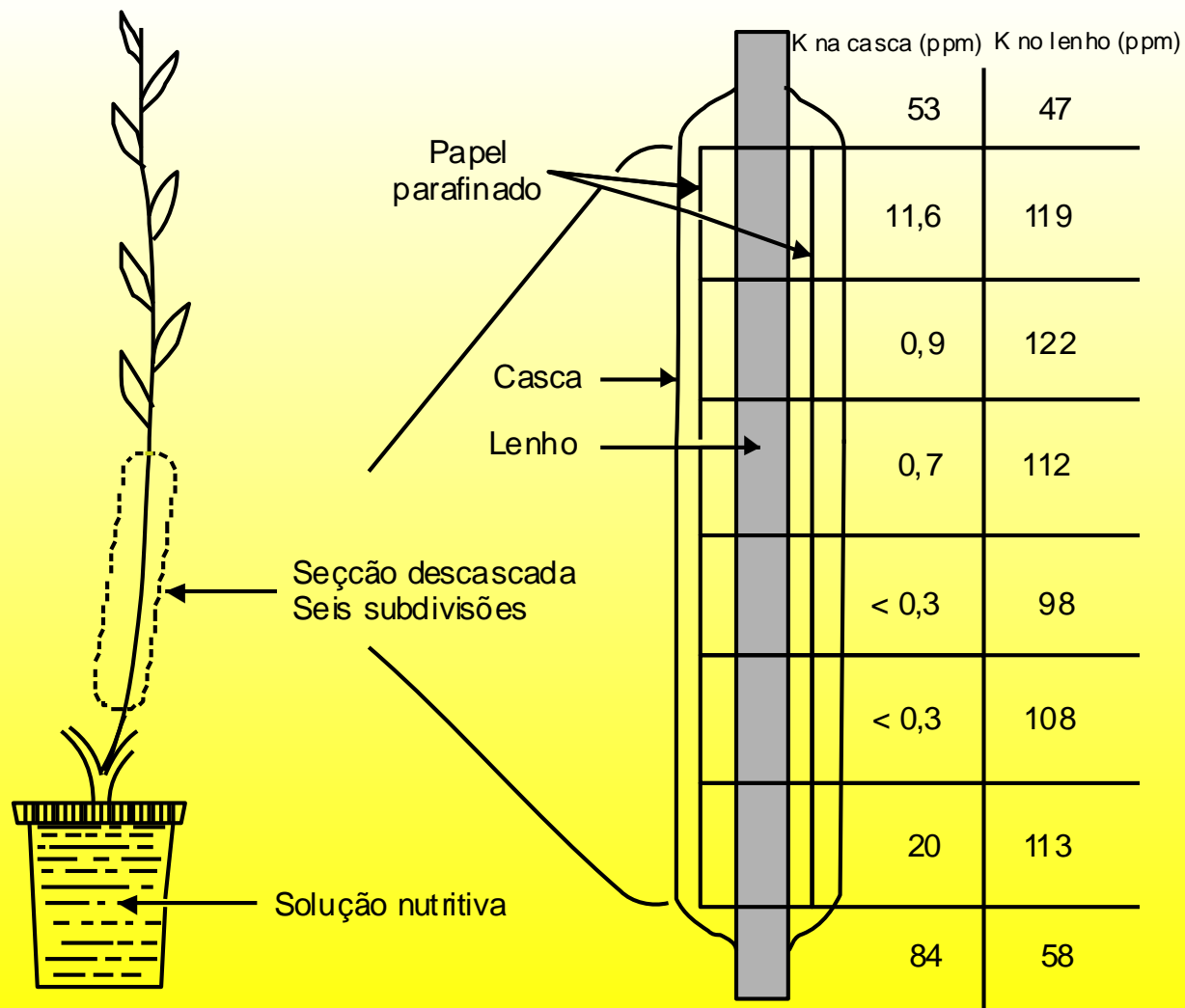
¹ Aplicação: 1 litro por planta de 4 anos de idade. Três aplicações em intervalo de 7 dias. Amostragens: 15 e 60 dias após a última pulverização.



Possíveis vias para o transporte a longa distância.



Caminho radial do movimento do íon através da raiz. As setas indicam os caminhos alternados que podem tomar os íons nutrientes conforme eles se movem da solução do solo para dentro dos elementos vasculares no estelo. As setas com círculos indicam transporte ativo dos íons através das membranas plasmáticas.



Representação esquemática do experimento de Stout & Hoagland sobre o movimento ascendente do potássio radioativo no caule de salgueiro.

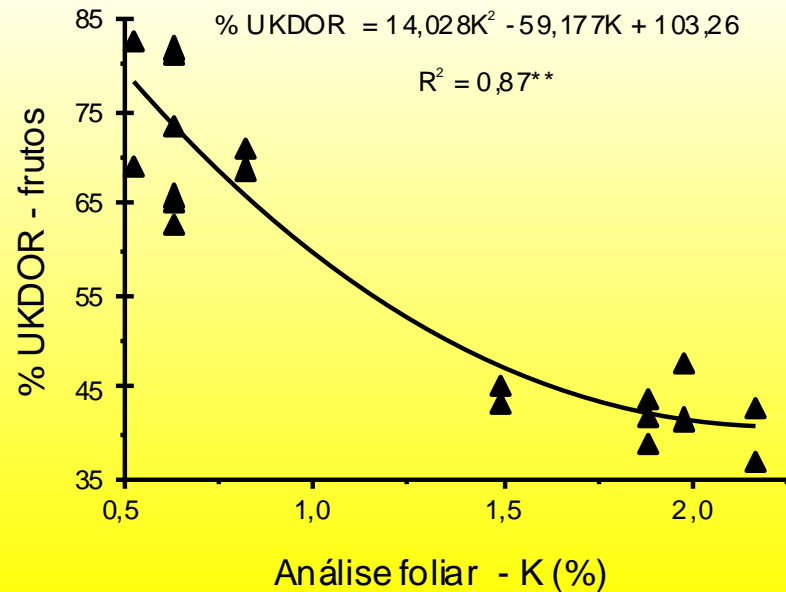
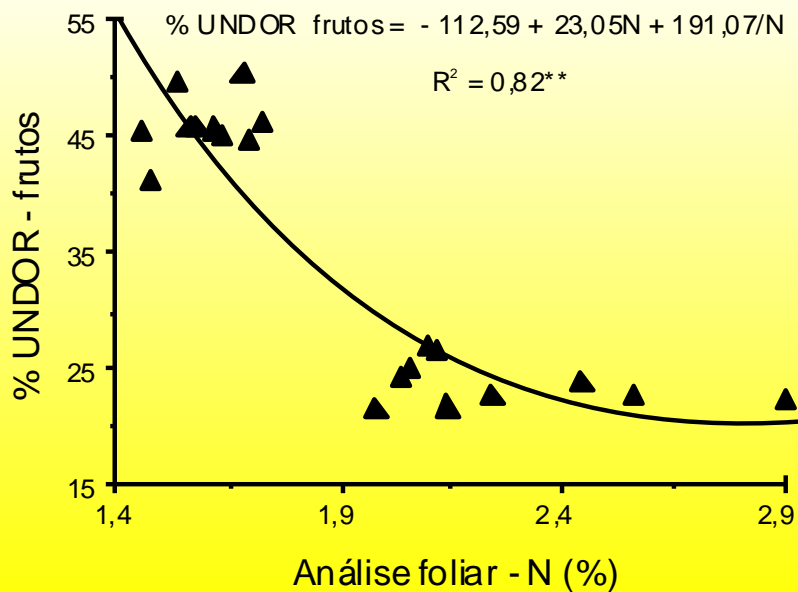
Fonte: STOUT & HOAGLAND (1939).

Comparação entre os níveis de elementos encontrados nas folhas (4^o par) de ramos frutíferos e não frutíferos

Tratamento	N (%)		P (%)		K (%)	
	Não frutífero	Frutífero	Não frutífero	Frutífero	Não frutífero	Frutífero
Testemunha	2,52	2,24	0,146	0,138	0,96	0,79
N	2,66	2,52	154	117	1,33	0,57
P	2,38	2,10	151	131	1,08	0,54
K	2,52	2,24	140	148	1,21	1,15
NP	2,38	2,15	142	122	1,02	0,72
NK	2,66	2,38	124	100	1,89	1,03
PK	2,38	1,96	132	119	1,90	1,04
NPK	2,52	1,96	118	119	1,66	0,88

Necessidades nutritivas dos citros

Idade (anos)	M.S. planta kg	Produção M.F. kg	Consumo anual crescimento g			% cobertura pelas reservas			Necessidades anuais g		
			N	P	K	N	P	K	N	P	K
			2	1,2	-	6,8	0,8	3,6	25	12	22
6	32	28	210	18	121	32	16	28	142	15	87
12	102	120	667	53	347	32	17	29	453	44	246



Utilização do N (% UNDOR) e do K (% UKDOR) em órgãos de reserva para a frutificação em função do estado nutricional.

Conclusões Finais

- 1. O K, geralmente o cátion mais abundante na planta, é absorvido num processo morro acima, que apresenta duas isotermas.**
- 2. A absorção depende da atividade da ATPase e se dá via carregadores e canais transmembranas, processos que estão sendo esclarecidos nos seus aspectos de genética molecular.**
- 3. A absorção foliar mostra cinética idêntica à da radicular.**
- 4. O transporte radial na raiz se dá via simplasto e apoplasto, respeitada a barreira das estrias de Cáspari.**
- 5. Xilema e floema fazem o transporte a longa distância.**
- 6. A absorção foliar garante a eficiência da adubação potássica por esse caminho, em dadas situações, para as culturas de algodão, café, cana-de-açúcar e citros, entre outras.**
- 7. Parte do K acumulado em órgãos vegetativos (folhas, lenho) é mobilizada para o crescimento e a frutificação dos citros e do cafeeiro, e possivelmente de outras espécies.**