

RELAÇÕES MOLARES DE MACRONUTRIENTES EM TECIDOS VEGETAIS COMO BASE PARA A FORMULAÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS¹

Hugo Alberto Ruiz²

1. INTRODUÇÃO

Para sua evolução e crescimento, as plantas extraem do solo a maior proporção dos nutrientes minerais. Esses nutrientes são transportados na solução do solo por diversos mecanismos (5) e absorvidos pelas raízes. A solução do solo apresenta grande heterogeneidade na sua composição, observando-se ainda diferenças mais marcadas na rizosfera, provocadas pela absorção de água e nutrientes, consumo de oxigênio, liberação de gás carbônico e população microbiana.

Assim, nos estudos de nutrição mineral de plantas, o solo constitui-se num meio altamente complexo e interativo para que sejam analisados os efeitos individuais de um nutriente em foco. Na escolha do uso de meios artificiais mais simples, que permitem um melhor controle das proporções dos diversos nutrientes, começou-se a trabalhar com soluções arejadas dos diversos macro e micronutrientes necessários ao crescimento vegetal. As comunicações científicas de trabalhos desenvolvidos com soluções nutritivas remontam à segunda metade do século XIX (12). Após os trabalhos iniciais, numerosas formulações de soluções nutritivas têm sido propostas para estudos de nutrição mineral de plantas (1, 9, 11, 12, 13, 14). Nessas formulações observa-se, geralmente, um

¹ Financiamento da Fundação Ceciliano Abel de Almeida. Aceito para publicação em 25.3.1997.

² Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG (Bolsista do CNPq).

desbalanceamento na relação dos diversos macronutrientes, o que leva, na prática, ao esgotamento prematuro de um deles, enquanto os outros apresentam-se ainda em concentrações elevadas na solução nutritiva. A diminuição gradativa e equilibrada dos macronutrientes de uma solução nutritiva evitaria os efeitos prejudiciais de deficiências temporárias de nutrientes e diminuiria os custos das pesquisas pelo esgotamento balanceado dos reagentes (4, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27).

O objetivo deste trabalho foi determinar as relações molares de macronutrientes em plantas de arroz, cevada, feijão, jiló, milho, pimentão, soja, sorgo, tomate, trigo e triticale como base para a formulação de soluções nutritivas específicas para essas culturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e trabalhou-se com diversas linhagens de tais culturas. Esse material foi disposto em um delineamento em blocos casualizados, com três ou quatro repetições, segundo cada caso específico.

As sementes germinaram em caixas com areia lavada. Foram transplantadas duas plântulas para cada vaso plástico de 2.500 mL, contendo solução nutritiva de CLARK (9) modificada quanto à concentração de ferro (0,08 mmol/L). O sistema recebeu arejamento contínuo, com controle diário do pH, ajustado para 5,5. A solução nutritiva foi trocada a cada quatro dias, visando assegurar fornecimento adequado de nutrientes.

As plantas cresceram nessas condições até atingirem um porte mínimo de 25 cm. Decorrido o tempo necessário, o material foi colhido, seco em estufa com ventilação forçada, a 75°C, até peso constante, e moído em moinho de tipo Wiley. Amostras desse material foram submetidas à digestão nitroperclórica (25). Aliquotas das soluções provenientes da digestão foram utilizadas para a determinação de fósforo, colorimetricamente, após a formação do complexo fosfomolibdico reduzido (7); de cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica (16); de potássio, por fotometria de emissão de chama (10); e de enxofre, por turbidimetria (6). Outras amostras serviram para determinar o nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (8).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os valores dos teores de macronutrientes no material vegetal, calcularam-se as relações molares N/K, P/K, Ca/K, Mg/K e S/K

(Quadros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11). Para iniciar a formulação das soluções nutritivas, consideraram-se as maiores relações molares para cada espécie vegetal. Esses valores foram incrementados em 20%, de forma a transformar o potássio no nutriente limitante da solução Assim, a concentração de potássio determinada por fotometria de emissão de chama na alíquota retirada para ajuste do pH indica a necessidade de troca da solução nutritiva.

Os valores selecionados dos Quadros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11, segundo os critérios descritos, são apresentados no Quadro 12 e serviram como base para o cálculo das soluções nutritivas específicas formuladas no Quadro 13. Os critérios utilizados foram os seguintes:

QUADRO 1 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de quatro repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	mol/mol		
				Ca/K	Mg/K	S/K
IAC 164	2,75	0,26	1,00	0,15	0,16	0,09
CICA 9	2,81	0,19	1,00	0,18	0,18	0,09
INCA	2,83	0,18	1,00	0,16	0,22	0,11
IET 1785	2,69	0,18	1,00	0,17	0,18	0,09
GA 3486	2,91	0,20	1,00	0,15	0,16	0,09
GA 3877	2,83	0,17	1,00	0,16	0,18	0,09
GA 3886	3,00	0,20	1,00	0,17	0,21	0,09
GA 3914	2,75	0,17	1,00	0,13	0,20	0,11
GA 3916	3,02	0,20	1,00	0,17	0,18	0,10
IR 841-63-5-6-9-33	3,07	0,20	1,00	0,20	0,18	0,09
MRM	3,07	0,26	1,00	0,20	0,22	0,11
AK	3,68	0,31	1,00	0,24	0,26	0,13

a) Os seis macronutrientes deveriam ser fornecidos por um número mínimo de sais com solubilidade suficiente para preparar soluções-estoque com uma concentração de 1 mol/L e isentos dos íons sódio e cloreto. Quatro sais que satisfizeram essa condição foram: KNO_3 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; e $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

b) A concentração de KNO_3 é fixa e igual a 1 mmol/L.

QUADRO 2 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de cevada (*Hordeum vulgare* L.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de quatro repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	Ca/K	Mg/K	S/K
	mol/mol					
ANTARCTICA 04	3,60	0,33	1,00	0,14	0,14	0,07
ANTARCTICA 05	4,24	0,34	1,00	0,17	0,13	0,07
BR 1	3,83	0,39	1,00	0,15	0,13	0,08
FM 404	4,03	0,47	1,00	0,16	0,15	0,09
FM 519	4,50	0,50	1,00	0,16	0,16	0,09
MN 599	4,49	0,47	1,00	0,18	0,15	0,08
MRM	4,50	0,50	1,00	0,18	0,16	0,09
AK	5,40	0,60	1,00	0,22	0,19	0,11

QUADRO 3 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	Ca/K	Mg/K	S/K
	mol/mol					
EFC 21	2,50	0,33	1,00	0,19	0,06	0,06
EFC 25	2,16	0,28	1,00	0,16	0,07	0,05
EFC 30	2,05	0,26	1,00	0,15	0,05	0,05
EFC 82	2,10	0,26	1,00	0,16	0,06	0,05
EFC 86	1,94	0,26	1,00	0,20	0,06	0,05
EFC 91	1,88	0,25	1,00	0,17	0,06	0,04
A.2 52	2,35	0,28	1,00	0,16	0,06	0,06
AY 56	2,09	0,29	1,00	0,16	0,06	0,05
CARIVA	2,57	0,30	1,00	0,20	0,07	0,05
BAT 477	2,52	0,32	1,00	0,15	0,08	0,05
MRM	2,57	0,33	1,00	0,20	0,08	0,06
AK	3,08	0,40	1,00	0,24	0,10	0,07

QUADRO 4 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de jiló (*Solanum gilo* Raddi) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	Ca/K	Mg/K	S/K
C60 6534	1,91	0,15	1,00	0,10	0,04	0,06
C60 6572	1,71	0,17	1,00	0,09	0,04	0,05
CV CLARO	1,62	0,17	1,00	0,11	0,06	0,06
MAGÉ	1,93	0,16	1,00	0,12	0,07	0,07
PALMITO	1,97	0,14	1,00	0,11	0,05	0,05
TINGUÁ	1,93	0,19	1,00	0,13	0,07	0,07
VERDE-ESCURO	2,12	0,22	1,00	0,15	0,08	0,07
MRM	2,12	0,22	1,00	0,15	0,08	0,07
AK	2,54	0,26	1,00	0,18	0,10	0,08

c) A concentração de $MgSO_4$ é fixada pelo magnésio ou enxofre, considerando-se o mais exigido pelo vegetal.

d) A relação $N-NO_3^-/N-NH_4^+$ é fixa e igual a 7/1.

e) A concentração de $Ca(NO_3)_2$ é fixada pela relação:

$$[Ca(NO_3)_2] = \frac{1}{2} (7/8 [N] - [KNO_3]) = \frac{1}{2} (7/8 [N] - 1)$$

f) A concentração de $NH_4H_2PO_4$ é fixada pela relação:

$$[NH_4H_2PO_4] = 1/8 [N]$$

Essa formulação leva à utilização do cálcio para equilibrar a deficiência de cargas elétricas positivas. As soluções nutritivas resultantes (Quadro 13) apresentam esgotamento equilibrado de macronutrientes, associado à baixa força iônica, permitindo a sua utilização com material genético mais sensível a concentrações salinas elevadas, sem incrementar sensivelmente o número de trocas. Também apresentam-se bem tamponadas, característica favorecida pela relação $N-NO_3^-/N-NH_4^+$ igual a 7/1 (3) e pela presença de $H_2PO_4^-$.

A força iônica média das onze soluções formuladas é de 5,30 mmol/L, com valores extremos de 3,05 e 8,52 mmol/L, respectivamente. Esse valor médio é próximo daquele da solução utilizada por FOY *et alii* (11), isto é, 5,69 mmol/L.

QUADRO 5 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de milho (*Zea mays* L.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	mol/mol			
			K/K	Ca/K	Mg/K	S/K
AG 301	1,88	0,20	1,00	0,09	0,08	0,03
AG 302	2,13	0,23	1,00	0,07	0,08	0,05
AG 403	2,16	0,21	1,00	0,09	0,08	0,04
CARGILL 203	2,02	0,24	1,00	0,08	0,08	0,04
CARGILL 317	2,20	0,24	1,00	0,10	0,09	0,04
CENTRALMEX	1,99	0,23	1,00	0,08	0,08	0,04
CMS 06	2,09	0,23	1,00	0,08	0,08	0,04
CONTIMAX 233	2,03	0,23	1,00	0,07	0,07	0,03
CONTIMAX 322	1,81	0,21	1,00	0,08	0,07	0,03
EMCAPA 201	1,97	0,21	1,00	0,08	0,10	0,04
PIONEER 3212	2,04	0,26	1,00	0,09	0,09	0,04
PIONEER 3218	2,08	0,24	1,00	0,10	0,08	0,04
XL 605	1,93	0,24	1,00	0,08	0,07	0,05
XL678	2,08	0,22	1,00	0,07	0,07	0,04
MRM	2,20	0,26	1,00	0,10	0,10	0,05
AK	2,64	0,31	1,00	0,12	0,12	0,06

As soluções propostas (Quadro 13) são menos concentradas que as de CLARK (9), HOAGLAND e ARNOLD (13) e JOHNSON *et alii* (14). Estas últimas apresentam forças iônicas, considerando exclusivamente a contribuição dos macronutrientes, de 12,39; 24,72; e 22,53 mmol/L. A solução de CLARK (9) é limitada pela baixa relação P/K, de 0,038, que impossibilita o aproveitamento integral dos outros nutrientes da formulação. A solução de HOAGLAND e ARNOLD (13), extremamente concentrada, é normalmente usada com um décimo de força para mudas e com um terço ou meia força para plantas adultas (3). A solução de JOHNSON *et alii* (14), muito semelhante a de HOAGLAND e ARNOLD (13), tem as mesmas limitações de elevada concentração.

Algumas das soluções propostas (Quadro 13) já foram utilizadas em ensaios com duração de até três semanas (2, 26). Porém, entende-se que poderão ser usadas por períodos maiores, até fases mais adiantadas das culturas em estudo. Inclusive, pelas baixas forças iônicas originais, as

QUADRO 6 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	mol/mol		
				Ca/K	Mg/K	S/K
BGH 956	1,76	0,12	1,00	0,18	0,08	0,10
BGH 1467	1,59	0,09	1,00	0,17	0,08	0,08
BGH 1510	1,66	0,08	1,00	0,19	0,07	0,08
BGH 1653	1,35	0,09	1,00	0,17	0,07	0,08
BGH 2784	1,23	0,08	1,00	0,16	0,06	0,09
BGH 4508	1,95	0,11	1,00	0,25	0,09	0,09
BGH 4699	1,53	0,10	1,00	0,17	0,07	0,08
BGH 4705	1,28	0,10	1,00	0,14	0,06	0,07
BGH 4706	2,01	0,13	1,00	0,22	0,09	0,11
BGH 4714	1,65	0,10	1,00	0,16	0,07	0,08
MRM	2,01	0,13	1,00	0,25	0,09	0,11
AK	2,41	0,16	1,00	0,30	0,11	0,13

QUADRO 7 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	mol/mol		
				Ca/K	Mg/K	S/K
IAC 8	3,62		1,00	0,17	0,10	0,08
UFV-1	3,79	0,45	1,00	0,16	0,09	0,07
UFV-5	3,54	0,45	1,00	0,17	0,08	0,07
UFV-6	4,34	0,46	1,00	0,18	0,10	0,08
ARAGUAIA	3,62	0,47	1,00	0,17	0,10	0,08
CRISTALINA	3,54	0,47	1,00	0,16	0,09	0,06
DOKO	3,65	0,55	1,00	0,19	0,10	0,08
JUPARANÁ	3,23	0,53	1,00	0,18	0,10	0,07
PARANAGOIANA	3,48	0,46	1,00	0,17	0,09	0,08
SUCUPIRA	3,32	0,47	1,00	0,17	0,09	0,08
UBERABA	3,55	0,53	1,00	0,18	0,10	0,08
MRM	4,34	0,55	1,00	0,19	0,10	0,08
AK	5,21	0,66	1,00	0,23	0,12	0,10

QUADRO 8 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK).
Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	mol/mol		
				Ca/K	Mg/K	S/K
BR 501	1,95	0,30	1,00	0,05	0,06	0,06
BR 505	2,00	0,31	1,00	0,05	0,06	0,07
BR 506	2,15	0,32	1,00	0,05	0,05	0,06
BR 507	2,46	0,32	1,00	0,05	0,05	0,09
BR 00 1B	1,99	0,32	1,00	0,05	0,05	0,06
BR 00 7B	2,05	0,31	1,00	0,05	0,05	0,07
BR 00 8B	2,21	0,36	1,00	0,05	0,05	0,07
BR 00 9B	2,30	0,31	1,00	0,05	0,07	0,09
BR 00 5R	2,20	0,31	1,00	0,05	0,06	0,07
BR 0 11R	2,29	0,31	1,00	0,06	0,05	0,06
CMS x 182	2,35	0,32	1,00	0,06	0,09	0,07
CMS x S 180	1,79	0,29	1,00	0,05	0,07	0,07
CMS x S 629	2,12	0,36	1,00	0,05	0,08	0,09
CMS x S 630	2,45	0,37	1,00	0,06	0,08	0,08
CMS x S 642	1,97	0,32	1,00	0,06	0,09	0,06
CMS x S 644	1,99	0,27	1,00	0,06	0,07	0,08
CMS x S 649	2,20	0,30	1,00	0,06	0,08	0,06
CMS x S 650	1,95	0,34	1,00	0,06	0,08	0,07
CMS x S 156B	1,94	0,37	1,00	0,05	0,09	0,08
CMS x S 157B	2,30	0,40	1,00	0,06	0,09	0,08
MRM	2,46	0,40	1,00	0,06	0,09	0,09
AK	2,95	0,48	1,00	0,07	0,11	0,11

QUADRO 9 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de três repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	mol/mo		
				Ca/K	Mg/K	S/K
BGH 1091	1,63	0,16	1,00	0,24	0,07	0,12
BGH 1988	1,57	0,15	1,00	0,23	0,07	0,11
BGH 2088	1,37	0,13	1,00	0,26	0,07	0,10
BGH 2116	1,36	0,12	1,00	0,26	0,07	0,08
BGH 2173	1,63	0,14	1,00	0,27	0,09	0,13
BGH 2271	1,47	0,15	1,00	0,21	0,06	0,09
BGH 2447	1,34	0,12	1,00	0,22	0,07	0,10
BGH 3389	1,47	0,13	1,00	0,22	0,08	0,10
BGH 3500	1,54	0,13	1,00	0,27	0,09	0,15
BGH 4346	1,70	0,13	1,00	0,25	0,08	0,10
MRM	1,70	0,16	1,00	0,27	0,09	0,15
AK	2,04	0,19	1,00	0,32	0,11	0,18

QUADRO 10 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de trigo (*Triticum vulgare* Vill.) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de quatro repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	mol/mol		
				Ca/K	Mg/K	S/K
BR 14	4,30	0,49	1,00	0,08	0,11	0,09
BR 15	4,49	0,43	1,00	0,08	0,12	0,09
BR 23	4,66	0,50	1,00	0,09	0,12	0,09
BR 32	4,17	0,41	1,00	0,08	0,11	0,07
CEP 14	5,06	0,44	1,00	0,08	0,12	0,10
MARINGÁ	3,93	0,35	1,00	0,08	0,11	0,08
MRM	5,06	0,50	1,00	0,09	0,12	0,10
AK	6,07	0,60	1,00	0,11	0,14	0,12

QUADRO 11 - Relações molares de macronutrientes com o potássio nas linhagens de triticale (*Triticosecale* sp. Wittmack) estudadas; maiores relações molares (MRM) e acréscimo de 20% de potássio (AK). Médias de quatro repetições

Linhagem	N/K	P/K	K/K	Ca/K	Mg/K	S/K
BR 1	3,41	0,39	1,00	0,08	0,10	0,10
BR 2	3,04	0,30	1,00	0,09	0,09	0,09
CEP 15	4,06	0,41	1,00	0,08	0,10	0,09
CEP 18	4,35	0,38	1,00	0,09	0,09	0,09
IAPAR 13	3,87	0,35	1,00	0,10	0,10	0,09
OCEPAR 1	3,15	0,36	1,00	0,09	0,12	0,10
MRM	4,35	0,41	1,00	0,10	0,12	0,10
AK	5,22	0,49	1,00	0,12	0,15	0,12

QUADRO 12 - Maiores relações molares, acrescidas de 20% de potássio, utilizadas como base na formulação das soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico

Cultura	Nome Científico	N/K	P/K	K/K	Ca/K	Mg/K	S/K
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	3,68	0,31	1,00	0,24	0,26	0,13
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>	5,40	0,60	1,00	0,22	0,19	0,11
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	3,08	0,40	1,00	0,24	0,10	0,07
Jiló	<i>Solanum gilo</i>	2,54	0,26	1,00	0,18	0,10	0,08
Milho	<i>Zea mays</i>	2,64	0,31	1,00	0,12	0,12	0,06
Pimentão	<i>Capsicum annuum</i>	2,41	0,16	1,00	0,30	0,11	0,13
Soja	<i>Glycine max</i>	5,21	0,66	1,00	0,23	0,12	0,10
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	2,95	0,48	1,00	0,07	0,11	0,11
Tomate	<i>Lycopersicum esculentum</i>	2,04	0,19	1,00	0,32	0,11	0,18
Trigo	<i>Triticum vulgare</i>	6,07	0,60	1,00	0,11	0,14	0,12
Triticale	<i>Triticosecale</i> sp.	5,22	0,49	1,00	0,12	0,15	0,12

QUADRO 13 - Concentrações de macronutrientes e força iônica (I) das soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico

Cultura	Nome Científico	KNO ₃	MgSO ₄	Ca(NO ₃) ₂	NH ₄ H ₂ PO ₄	I
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	1,00	0,26	1,11	0,46	5,60
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>	1,00	0,19	1,86	0,68	7,74
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1,00	0,10	0,85	0,39	4,22
Jiló	<i>Solanum gilo</i>	1,00	0,10	0,61	0,32	3,45
Milho	<i>Zea mays</i>	1,00	0,12	0,66	0,33	3,68
Pimentão	<i>Capsicum annuum</i>	1,00	0,13	0,55	0,30	3,37
Soja	<i>Glycine max</i>	1,00	0,12	1,78	0,65	7,25
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	1,00	0,11	0,79	0,37	4,06
Tomate	<i>Lycopersicum esculentum</i>	1,00	0,18	0,39	0,26	3,05
Trigo	<i>Triticum vulgare</i>	1,00	0,14	2,16	0,76	8,52
Triticale	<i>Triticosecale</i> sp.	1,00	0,15	1,78	0,65	7,35

concentrações das soluções poderão ser duplicadas, quando consideradas as mais concentradas, ou até triplicadas, as mais diluídas, sem atingirem as forças iônicas de outras soluções nutritivas habitualmente utilizadas em ensaios do tipo descrito (13, 14). De qualquer forma, a necessidade de troca está relacionada com as exigências de cada situação específica, sendo monitorada pelo esgotamento do potássio na solução nutritiva.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Para se determinarem as relações molares de macronutrientes em plantas de arroz, cevada, feijão, jiló, milho, pimentão, soja, sorgo, tomate, trigo e triticale, com o objetivo de formular soluções nutritivas específicas para essas culturas, foram conduzidos ensaios, em casa de vegetação, com diversas linhagens dessas culturas. O material foi transplantado, após semeadura em caixa com areia lavada, para vasos com solução nutritiva de Clark. Os experimentos, em blocos casualizados, tiveram três ou quatro repetições, segundo cada caso específico, com duas plantas por vaso. A solução nutritiva foi trocada a cada quatro dias, para assegurar um fornecimento adequado de nutrientes, e o pH ajustado em 5,5. Decorrido o tempo necessário, o material foi colhido, determinando-se o teor de macronutrientes. Calcularam-se as relações molares N/K, P/K, Ca/K, Mg/K e S/K. Na formulação resultante, baseada nas maiores relações

molares, acrescentou-se 20% na concentração dos outros macronutrientes em relação ao potássio, transformando-o no nutriente limitante. Assim, a necessidade de troca da solução nutritiva é indicada pela concentração de potássio, determinada por fotometria de emissão de chama na alíquota tomada para o ajuste do pH. Sugerem-se soluções nutritivas específicas para cada cultura em estudo.

5. SUMMARY

(NUTRIENT SOLUTION FORMULATION BASED ON MACRONUTRIENT MOLAR RELATIONS OF PLANT TISSUES)

In order to determine macronutrient molar relations and prepare culture solutions for rice, barley, bean, "jiló" (*Solanum gilo*), corn, pepper, soybean, sorghum, tomato, wheat and triticale, eleven greenhouse experiments were conducted, using several cultivars of each culture. Two seedlings of each cultivar were transplanted to pots containing Clark's nutrient solution. The experiments were carried out in a randomized block design, with three or four replicates, in accordance with materials availability. The culture solution was replaced every four days, in order to get an appropriate nutrient supply, and the pH adjusted to 5.5. After a convenient growing period, different for each culture, the plants were taken out, the macronutrient contents determined, and the molar relations N/K, P/K, Ca/K, Mg/K and S/K calculated for every cultivar. The specific nutrient solution for each culture was based on the greatest molar relations. Besides, every nutrient concentration was increased in 20% in relation to that of potassium, transformed in the limiting macronutrient. Consequently, the potassium concentration, determined by flame photometry, will indicate the need of replacement for the culture solution. Nutrient solutions for the eleven cultures are suggested.

6. AGRADECIMENTOS

Aos profissionais que, quando estudantes de agronomia na Universidade Federal do Espírito Santo, participaram do programa de iniciação científica: Elion Vargas Teixeira, Evandro Almeida Teixeira, Hélio Estellita Herkenhoff Filho, José Mauro Bunicenha, Kátia Regina Aurich, Luciano Furtado de Mendonça, Marcelo Moura Coelho, Miguel Angelo Engelhardt, Renato Ribeiro Passos e Romildo Rocha Azevedo Jr.

7. LITERATURA CITADA

1. ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D. & SANDLAND, R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:325-339, 1973.
2. ARAÚJO, C.A.S. *Avaliação de feijoeiros quanto à tolerância à salinidade em solução nutritiva*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 87p. (Tese MS).
3. ASHER, C.J. & EDWARDS, D.G. Modern solution culture techniques. In: LÄUCHLI, A. & BIELESKI, R.L. (eds.). *Inorganic plant nutrition*. Berlin, Springer-Verlag, 1983. p.94-119.
4. AURICH, K.R. & RUIZ, H.A. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. X. Trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXII, Recife-PE, 1989. *Programa e Resumos*, Recife-PE, SBCS, 1989. p.169-170.
5. BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W. (ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.525-564.
6. BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant materials by digestion with nitric and perchloric acid. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:71-72, 1965.
7. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres*, 21:73-85, 1974.
8. BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.
9. CLARK, R.B. Characterization of phosphates of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-460, 1975.
10. DIGIMED. *Fotômetro de chama. Manual de instruções*. São Paulo, Digimed, s.d. 14 p.
11. FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.P. & ARMINGER, W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:513-521, 1967.
12. HEWITT, E.J. *Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition*. Farham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1966. 547 p.
13. HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. *The water-culture method for growing plants without soil*. Berkeley, University of California, 1950. 32 p.
14. JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R.; PROYER, T.C. & CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant Soil*, 8:337-353, 1957.
15. PASSOS, R.R. & RUIZ, H.A. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. IX. Cevada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXII, Recife-PE, 1989. *Programa e Resumos*, Recife-PE, SBCS, 1989. p.168-169.
16. PERKIN-ELMER. *Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry*. Norwalk, Perkin-Elmer, 1968. s.n.p.
17. RUIZ, H.A.; BARBOSA, R.O.; AZEVEDO JR., R.R. & TEIXEIRA, E.V. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. I. Arroz. In: SEMINÁRIO INTERNO DE PESQUISA DA UFES, VI, Alegre-ES, 1987. *Anais*, Vitória-ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 1987. p.15.

18. RUIZ, H.A.; COELHO, M.M. & ENGELHARDT, M.A. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. VI. Soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, Guarapari-ES, 1988. *Resumos*, Vitória-ES, SEAG-ES, EMCAPA, EMATER-ES, SBCS, 1988. p.122-123.
19. RUIZ, H.A.; ENGELHARDT, M.A. & COELHO, M.M. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. III. Tomate. In: ENCONTRO SOBRE OLERICULTURA DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL, I, Vitória-ES, 1988. *Hort. Bras.*, 6:33, 1988.
20. RUIZ, H.A.; ENGELHARDT, M.A.; HERKENHOFF FILHO, H.E. & COELHO, M.M. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. VII. Jiló. In: ENCONTRO SOBRE OLERICULTURA DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL, I, Vitória-ES, 1988. *Hort. Bras.*, 6:33, 1988.
21. RUIZ, H.A.; HERKENHOFF FILHO, H.E. & BUNICENHA, J.M. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. V. Feijão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, Guarapari-ES, 1988. *Resumos*, Vitória-ES, SEAGES, EMCAPA, EMATER-ES, SBCS, 1988. p.120-121.
22. RUIZ, H.A.; HERKENHOFF FILHO, H.E. & BUNICENHA, J.M. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. IV. Pimentão. In: ENCONTRO SOBRE OLERICULTURA DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL, I, Vitória-ES, 1988. *Hort. Bras.*, 6:33, 1988.
23. RUIZ, H.A.; HERKENHOFF FILHO, H.E.; ENGELHARDT, M.A. & COELHO, M.M. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. VIII. Sorgo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, Guarapari-ES, 1988. *Resumos*, Vitória-ES, SEAG-ES, EMCAPA, EMATER-ES, SBCS, 1988. p.120.
24. RUIZ, H.A. & MENDONÇA, L. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. II. Milho. In: SEMINÁRIO INTERNO DE PESQUISA DA UFES, VI, Alegre-ES, 1987. *Anais*, Vitória-ES, Universidade Federal do Espírito Santo, 1987. p.16.
25. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, USP/ESALQ, 1974. 57 p.
26. SILVA, D.J. *Transporte no solo, absorção, translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e soja*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 80p. (Tese DS).
27. TEIXEIRA, E.A. & RUIZ, H.A. Proporções e concentrações de macronutrientes na formulação de soluções nutritivas específicas para culturas de interesse agrônômico. XI. Triticale. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXII, Recife-PE, 1989. *Programa e Resumos*, Recife-PE, SBCS, 1989. p.170-171.