

EFEITOS DO ALUMINIO NO TRIGO (*Triticum vulgare* L.  
var. Piratiní) CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA I <sup>1</sup>

A.D. Cruz <sup>2</sup>  
H.P. Haag <sup>3</sup>  
J.R. Sarruge <sup>3</sup>  
E. Malavolta <sup>3</sup>

RESUMO

Plântulas de trigo (*Triticum vulgare* L.) da variedade Piratiní considerada suscetível ao "crestamento" foram cultivadas em solução nutritiva empregando-se a técnica das raízes divididas.

As plantas submetidas aos tratamentos correspondentes às concentrações mais elevadas de alumínio, mostraram clorose nas folhas superiores e mais caracteristicamente inibição no desenvolvimento das raízes mergulhadas nas soluções com alumínio.

Os tratamentos provocaram alterações na composição das plantas em nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio sem afetar o peso da matéria seca das diferentes partes da planta com exceção das raízes em contato com o alumínio.

INTRODUÇÃO

Um dos fatores responsáveis pela baixa produtividade do trigo no Rio Grande do Sul, é a acidez do solo, que em algumas áreas chega a ser tão intensa que ocasiona, o que técnicos e agricultores chamam de "crestamento".

Este fenômeno se caracteriza, entre outros aspectos por sua influência negativa na produção, desenvolvimento e em casos mais acentuadas na germinação.

<sup>1</sup> Parte de uma tese de um dos autores (A.D.C.) para obtenção do título de Magister Scientiae, E.S.A. "Luiz de Queiroz"USP. Recebido para publicação em 28 de agosto de 1967.

<sup>2</sup> Engº Agrº do IPEAS, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>3</sup> Cadeira de Química Biológica - ESALQ/USP.

A causa do "crestamento" tem sido estudada e atribuída à acidez nociva, ou seja, ao alumínio trocável do solo (Araújo, 1949).

Vários são os trabalhos que mostram respostas diversas, pelas plantas, aos tratamentos com alumínio.

Wallihan (1948), trabalhando com trevo (*Trifolium repens* L.) em solução nutritiva constatou que o desenvolvimento das plantas não é afetado pela presença do alumínio.

REES e SIDRAK (1961), trabalhando com cevada (*Hordeum vulgare* L.) constataram que o alumínio na concentração de 10 a 60 ppm, causou uma redução no desenvolvimento da parte aérea e das raízes das plantas.

HORTENSTINE e FISKELL (1961), utilizaram o girassol (*Helianthus annuus* L.) e concluíram que o alumínio nas concentrações acima de 4 ppm inibe acentuadamente o peso das folhas e das raízes.

Com a finalidade de contribuir para o estudo das observações referentes ao alumínio no trigo, realizamos o presente trabalho com os seguintes objetivos:

1. Observar o desenvolvimento do trigo, cultivado em solução nutritiva com diversas concentrações de alumínio (0,25 a 60 ppm).
2. Determinar os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, nas folhas, hastes e raízes das plantas submetidas às condições anteriores.
3. Obter um quadro sintomatológico das plantas submetidas às condições (1).

#### MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de trigo da variedade Piratini considerada suscetível ao "crestamento", foram postas a germinar em caixas, contendo areia lavada, colocadas em casa de vegetação.

Processada a germinação, quando as plântulas atingiram cerca de 5 cm de altura, fizemos uma seleção quanto à uniformidade e vigor.

A seguir, as plântulas foram transferidas para reci-

plantes metálicos, com um litro de capacidade, revestidos internamente com Neutrol - 45, e dispostos aos pares para o emprego da técnica das raízes divididas.

Esta técnica consiste em dividir o sistema radicular em duas porções com um número de raízes aproximadamente igual. Uma das porções radiculares é mergulhada na solução nutritiva com alumínio e sem adição de fósforo. A outra porção é mergulhada na solução nutritiva completa, sem o acréscimo de alumínio.

As soluções foram permanentemente arejadas durante o cultivo.

O ensaio foi realizado em casa de vegetação, constituindo os tratamentos nas seguintes concentrações de alumínio:

0,25, 0,75, 1,0, 2,0, 4,0, 10,0, 20,0, 40,0 e 60,0 ppm

Para obtenção destas concentrações retirou-se alíquotas de uma solução estoque de  $AlCl_3$  6l  $H_2O$  e transferiu-se para as soluções sem fosfatos. Ajustou-se o pH ao valor 4, com ácido clorídrico, utilizando-se o papel indicador universal (Merck). As plantas permaneceram durante trinta e quatro dias nos tratamentos, os quais, juntamente com as soluções completas foram renovadas semanalmente.

Concluindo o ensaio, procedeu-se a coleta das plantas separando-se: folhas, hastes e as duas porções do sistema radicular.

As raízes foram lavadas com água, ácido clorídrico 0,1N e água destilada.

A seguir, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a  $75^{\circ} - 80^{\circ}C$ , por vários dias, e moídas em moíno Willey de peneira nº 20.

As análises químicas foram feitas segundo os métodos citados por MALAVOLTA (1964), com exceção das determinações de alumínio que seguiu-se o método de CATANI e BITTENCOURT (1965)<sup>4</sup>. O ensaio, inteiramente casualizado, constou de 10 tratamentos com quatro repetições.

---

<sup>4</sup> Não publicado

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sintomas observados nas folhas e nas raízes das plantas não mostraram variações de intensidade correlatas com as concentrações de alumínio nas soluções.

As diferenças mais evidentes, nas folhas e nas raízes, foram observadas entre a testemunha e os tratamentos com 20,0 a 50,0 ppm de alumínio.

Nas concentrações de 0,25 a 10 ppm de alumínio os sintomas se manifestaram mais tardiamente, inclusive nas raízes onde os mesmos são mais perceptíveis.

As plantas que vegetaram nas soluções que não adicionou-se alumínio, mostraram um desenvolvimento normal, apresentando as folhas superiores cor verde forte e um número reduzido de folhas inferiores secas.

O sistema radicular apresentou-se de cor marfim e igualmente desenvolvido, tanto na porção mergulhada na solução em adição de fosfatos como na porção imersa na solução completa.

As plantas submetidas às concentrações de 20,0, 40,0 e 60,0 ppm, mostraram um desenvolvimento aparentemente menor que as testemunhas. As folhas superiores apresentavam uma cor verde pálido, exibindo algumas cloroses em estrias. As folhas secas eram em grande número em relação às testemunhas. O sistema radicular apresentava-se desigualmente distribuído porque as raízes emitidas nas soluções contendo alumínio, se apresentavam atrofiadas.

As plantas submetidas às concentrações de 4,0 a 60,0 ppm de alumínio apresentaram a partir do sétimo dia de cultivo, clorose com estrias longitudinais nas folhas.

À medida que os sintomas evoluíam, com o decorrer do cultivo, surgiam ao longo das estrias manchas cloróticas intermitentes, ocasionalmente com pontuações necróticas, que coalesciam do ápice para base das folhas as quais ficavam amarelas com nuances alaranjadas mantendo as pontuações escuras.

A sintomatologia por nós constatada, foi concordante com a obtida por REES e SIDRAK (1961) em cevada, empregando a técnica do cultivo alternado.

As raízes emitidas nos tratamentos com alumínio (20,0

a 60,0 ppm) contrastavam nitidamente com as desenvolvidas na solução completa. As raízes de 1ª ordem eram mais curtas e com um diâmetro maior do que as normais.

A zona de crescimento se apresentava muito pequena ou mal caracterizada.

A zona pelífera era diminuta com pêlos absorventes inexistentes ou em decomposição, distinguindo-se das normais que apresentavam um número abundante de pêlos. As radículas eram em grande número, pequenas e grossas.

Pelo exame do Quadro nº 1, observa-se que o alumínio nas concentrações empregadas não influenciou significativamente no peso da matéria seca das folhas, hastes e raízes mergulhadas na solução completa.

Conforme era de se esperar, considerando a sintomatologia apresentada pelas raízes mergulhadas na solução com alumínio, observa-se que houve efeito significativo dos tratamentos no peso da matéria seca desta porção do sistema radicular.

#### Quadro nº 1

Peso (g) da matéria seca das folhas, hastes e raízes mergulhadas na solução com alumínio (Raiz c/Al) e raízes mergulhadas na solução completa (Raiz s/Al). Média de quatro repetições.

Tratamento	Peso da matéria seca			
	Folha	Haste	Raiz s/Al	Raiz c/Al
Al (ppm)				
0,0	6,43	4,93	0,97	1,11
0,25	6,93	5,13	1,28	0,33
0,75	6,78	4,20	0,90	0,99
1,0	6,60	4,10	1,00	1,23
2,0	7,23	4,33	0,80	1,11
4,0	7,40	4,93	1,20	1,11
10,0	7,15	5,13	1,10	0,77
20,0	5,73	4,70	1,40	0,38
40,0	6,60	4,45	1,40	0,29
60,0	6,35	3,33	0,90	0,16
d.m.s. (5%) †	NE	NS	NS	1,11

† Teste de Tukey

Este fato indica um efeito de natureza externa, por parte do alumínio, independente da concentração interna do elemento.

RORISON (1953), explica que as substâncias pecticas da parede celular das células jovens, por ação do alumínio podem passar ao estado de gel diminuindo a plasticidade.

A precipitação das pectinas da parede celular pelo alumínio provoca a redução da permeabilidade celular segundo SUC (1912) citado por HUTCHINSON (1943) e explica a observação quanto à redução do volume das soluções com alumínio e soluções completas. Estas soluções, tinham seus volumes reduzidos diariamente devido a absorção e a evaporação. Entretanto, observou-se que as soluções completas necessitavam de um acréscimo de água, para manter o volume inicial, aproximadamente duas ou três vezes maior que as soluções com alumínio. Este aspecto, provavelmente, produz uma inibição no aumento do peso do material fresco, mas não é suficientemente intenso para provocar o mesmo efeito no material seco, uma vez que, apenas uma parte do sistema radicular está mergulhada na solução com alumínio.

#### Quadro nº 2

Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em ppm nas folhas.

Média de quatro repetições.

Tratamento		Teor do elemento na matéria seca				
Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Al (ppm)
0,0	3,04	0,33	2,69	0,65	0,33	55
0,25	2,76	0,35	2,79	0,31	0,34	84
0,75	2,56	0,34	3,19	0,66	0,29	461
1,0	3,11	0,37	3,23	0,47	0,32	275
2,0	2,37	0,32	2,90	0,61	0,38	233
4,0	2,74	0,45	2,86	0,33	0,29	412
10,0	2,49	0,31	2,43	0,23	0,53	263
20,0	2,69	0,34	2,54	0,49	0,24	220
40,0	2,14	0,26	2,77	0,57	0,23	115
60,0	1,69	0,33	2,62	0,52	0,26	437
d.m.s. (5%)	1,19	NS	0,75	0,41	0,21	413
d.m.s. (1%)	NS	NS	NS	0,49	0,25	NS

Examinando o Quadro nº 3, observamos que os tratamentos não influenciaram significativamente no teor de fósforo das plantas.

Entretanto, houve um efeito significativo ao nível de 5%, nos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e ao nível de 1% nos teores de alumínio.

O Quadro nº 3, mostra que as concentrações de alumínio nas soluções influenciaram significativamente, ao nível de 5% nos teores de fósforo, potássio e alumínio nas hastes mas não influenciaram significativamente nos teores de nitrogênio, cálcio e magnésio.

#### Quadro nº 3

Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em ppm nas hastes.  
Média de quatro repetições.

Tratamento		Teor de elemento na matéria sêca				
Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Al (ppm)
0,0	1,97	0,33	3,53	0,30	0,19	102
0,25	1,43	0,37	3,40	0,32	0,18	66
0,75	1,73	0,37	3,36	0,32	0,21	293
1,0	1,99	0,43	4,15	0,46	0,21	33
2,0	1,84	0,40	3,33	0,33	0,19	276
4,0	1,43	0,34	3,45	0,29	0,13	203
10,0	1,93	0,33	2,62	0,33	0,17	357
20,0	1,43	0,36	2,92	0,27	0,19	357
40,0	1,17	0,32	2,51	0,29	0,15	129
60,0	1,76	0,37	2,51	0,23	0,16	257
d.m.s. (5%)	NS	0,01	0,77	NS	NS	276

Examinando-se os dados do Quadro nº 4, observa-se que houve um efeito significativo dos tratamentos nos teores de fósforo, potássio e magnésio das raízes da solução completa, sendo nos dois primeiros ao nível de 5% de probabilidade e neste último ao nível de 1%.

Nos teores de nitrogênio, cálcio e alumínio não houve efeito significativo.

## Quadro nº 4

Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em ppm, nas raízes mergulhadas na solução completa.  
Média de quatro repetições.

Tratamento		Teor do elemento na matéria seca				
Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Al (ppm)
0,0	2,0	0,18	1,52	0,25	0,39	49
0,25	1,9	0,31	1,44	0,41	0,43	87
0,75	2,2	0,30	1,57	0,69	0,51	130
1,0	2,4	0,25	1,65	0,49	0,39	189
2,0	2,2	0,47	1,15	0,49	0,48	443
4,0	2,1	0,41	1,27	0,56	0,57	249
10,0	2,3	0,39	1,25	0,61	0,57	557
20,0	2,0	0,49	1,27	0,61	0,60	2595
40,0	2,0	0,49	0,99	0,52	0,62	4082
60,0	2,0	0,36	0,94	0,59	0,58	4470
d.m.s. (5%)	NS	0,31	0,77	NS	0,23	NS
d.m.s. (1%)	NS	NS	NS	NS	0,28	NS

O Quadro nº 5 mostra um efeito significativo dos tratamentos nos teores de fósforo, magnésio e alumínio ao nível de 5% de probabilidade e nos teores dos demais elementos analisados não houve efeito significativo.

Além das considerações anteriores sobre a composição química de cada uma das partes das plantas, observa-se que para alguns elementos o efeito dos tratamentos foi significativo apenas nas folhas e para outros em duas ou todas as partes da planta.

Considerando que não houve uma influência significativa dos tratamentos no peso da matéria seca, com exceção das raízes mergulhadas na solução de alumínio, admitimos que os efeitos do alumínio restringiram-se a uma mudança na distribuição dos elementos na planta e não a um efeito de diluição.

Como não pode se constatar uma correspondência entre as concentrações de alumínio na solução e a dos nutrientes na planta, procurou-se estabelecer correlações entre os teores de alumínio na planta e os teores de nutrientes na mesma.

## Quadro nº 5

Teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em ppm, nas raízes mergulhadas nas soluções com alumínio. Média de quatro repetições.

Tratamento		Teor do elemento na matéria seca				
Al (ppm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Al (ppm)
0,0	1,7	0,10	1,03	0,22	0,41	42
0,25	1,9	0,23	1,49	0,26	0,44	475
0,75	2,4	0,16	1,65	0,41	0,51	553
1,0	1,9	0,22	2,03	0,39	0,46	472
2,0	2,2	0,21	1,44	0,44	0,57	785
4,0	1,9	0,23	1,51	0,23	0,43	3038
10,0	1,9	0,22	1,65	0,37	0,38	179
20,0	2,5	0,40	1,60	0,37	0,23	129
40,0	-	0,42	2,19	0,27	0,21	685
60,0	-	0,33	1,33	0,34	0,24	420
d.m.s. (5%)	NS	0,32	NS	NS	0,36	601

Estas correlações foram estabelecidas com a finalidade de obter-se informações, independentemente do conhecimento das concentrações efetivas de alumínio nas soluções.

O Quadro nº 6, mostra os coeficientes de correlações, entre os teores de alumínio e os demais nutrientes analisados, nas folhas.

## Quadro nº 6

Coefficientes de correlação entre os teores de alumínio (ppm) e teores percentuais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e peso seco (g), nas folhas.

Alumínio x (Nutrientes e Peso seco)	r
Nitrogênio	- 0,37
Fósforo	0,15
Potássio	0,17
Cálcio	0,34
Magnésio	- 0,26
Peso seco	0,15
Limite (5%)	
Limite (1%)	

Examinando-se o Quadro nº 6, observa-se que houve uma correlação significativa, ao nível de 5% com o nitrogênio e o cálcio.

Para o nitrogênio a correlação foi negativa, indicando que um aumento na concentração de alumínio, provoca uma redução no teor de nitrogênio das folhas.

Este fato sugere que a distribuição do nitrogênio na planta foi modificada no sentido de sua imobilização no caule e nas raízes.

A correlação positiva, para o cálcio, indica que a distribuição deste nutriente na planta é modificada no sentido de sua mobilização para as folhas.

#### RESUMO E CONCLUSÕES

1. Tratamentos correspondentes a: 0,25 0,75 1,0 2,0 4,0 10,0 20,0 40,0 e 60,0 ppm de alumínio influem significativamente no peso da matéria seca das raízes mergulhadas nas soluções com alumínio (var. Piratini).

2. Os tratamentos correspondentes a: 0,25 0,75 1,0 2,0 4,0 10,0 20,0 40,0 e 60,0 ppm de alumínio alteram a distribuição de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, nas folhas, hastes e raízes (var. Piratini).

#### SUMMARY

Contribution to the study of Aluminium on wheat (*Triticum vulgare* L.) grown in nutrient solution.

Wheat seedlings (*Triticum vulgare* L.) var. Piratini, susceptible to aluminium toxicity (crestamento), were grown in nutrient solution with divided root system.

Morphological symptoms of toxicity were observed in leaves and roots on seedlings exposed to 20 to 50 ppm of aluminium. An alter was observed on the distribution of N, P, K, Ca, Mg and Al in leaves, stems and roots.

#### LITERATURA CITADA

ARAÚJO, J.E.G., 1949. O alumínio trocável. Possível causa do crestamento do trigo. Anais da Segunda Reunião Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP.

- HORTENSTINE, C.C., J.G.A., FISKELL, 1961. Effects of aluminium on sun flower growth and uptake of boron and calcium from nutrient solution. Ann. Arbor. Proc. Soil. Sci. Soc. Am. 25:304-306.
- HUTCHINSON, G.E., 1943. The Biogeochemistry of aluminium and of certain related elements. Baltimore. Q. Rev. Biol. 18:1-30, 128-153, 242-262, 331-363.
- MALAVOLTA, E., 1964. Análise química dos teores totais. Determinação de macronutrientes. Em "Curso Internacional de Diagnose Foliar". Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas. E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP. Piracicaba.
- REES, W.J., H.G. SIDRAK, 1961. Inter-relationship of aluminium and manganese toxicities towards plants. The Hague P. Soil. 14: 101-117.
- RORISON, I.H., 1953. The effect of aluminium on Legume Nutrition. Em Nutrition of the Legumes, ed. E.G.Halls North. Academic press Inc., publishers. New York, USA.
- WALLIHAN, 1943. The influence of aluminium on the phosphorus nutrition of plants. Lancaster. Am.J.Bot. 35:106-112.

