

PROGRESSOS NA TOLERÂNCIA DE ALFAFA A SOLOS ÁCIDOS

DANIEL PORTELLA MONTARDO¹, MIGUEL DALL'AGNOL², JOÃO HENRIQUE SILVA CAETANO³, JOSÉ QUIRINO FREITAS FERREIRA DA COSTA⁴

RESUMO: Esse trabalho teve por objetivo testar duas populações de alfafa, selecionadas para tolerância a acidez, comparando-as com a população original na qual se procedeu a seleção, em 5 níveis de pH. Uma das populações foi selecionada em solo ácido enquanto a outra foi selecionada em solução nutritiva. A avaliação da tolerância à acidez foi realizada através da medida da altura da parte aérea e do comprimento de raízes. Os resultados indicaram progressos na tolerância de alfafa a solos ácidos, tanto na avaliação da altura da parte aérea, quanto em termos de comprimento de raízes, em ambas as metodologias de seleção. Não ocorreu redução do potencial produtivo das populações melhoradas na ausência de alumínio no solo. A seleção em solução nutritiva foi tão eficiente quanto à seleção em solo para tolerância de alfafa à acidez. A correlação entre a altura da parte aérea e o comprimento de raízes foi positiva e significativa.

Palavras-chave: alumínio, *Medicago sativa*, melhoramento genético, seleção genética, solo ácido, solução nutritiva.

PROGRESSES IN ALFALFA'S TOLERANCE TO ACID SOILS

ABSTRACT: The objective of this research work was to test two improved populations of alfalfa for tolerance to acid soils, one selected for two cycles in soil and one for two cycles in solution culture, in five levels of pH. The aluminum tolerance was assessed by measuring the plants height and the roots length. Results indicated progress in alfalfa's tolerance to acid soils, evaluated by plants height and roots length by both methodologies of selection. The productive potential of the selected populations was not reduced in the absence of aluminum. The solution culture selection was as efficient as the soil selection for alfalfa's tolerance to acidity. Correlation between plants height and roots length was positive and significant.

Key words: aluminum, genetic improvement, *Medicago sativa*, selection, solution culture.

INTRODUÇÃO

Grandes áreas de solos ácidos ocorrem, principalmente em regiões tropicais úmidas, onde a intensidade das chuvas proporcionou forte intemperização, lixiviando os minerais do solo, causando problemas de toxidez por alumínio (Al) e manganês (Mn).

Na caracterização de solos ácidos deve-se considerar a saturação de Al e sua atividade, uma vez que apenas a quantidade de Al presente no solo não indica sua toxidez potencial, ao mesmo tempo em que a concentração de íons hidrogênio não é o único fator responsável pela toxidez em solos com

baixo pH (RUNGE e RODE, 1991).

Desta forma, o pH apresenta muitos efeitos indiretos, sendo que os danos causados às plantas podem variar conforme as demais características do solo e da espécie vegetal considerada. A maioria dos elementos tem sua atividade reduzida com a diminuição do pH, porém, o Al apresenta um comportamento inverso, aumentando sua atividade (MALAVOLTA, 1980). Segundo FOY (1992), a toxidez de Al é mais severa em pH abaixo de 5,0, porém, o ponto crítico em que esse elemento torna-se solúvel e trocável depende de muitos fatores do solo e da planta.

A aplicação de calcário é a forma mais usada

¹ Eng. Agr. M.Sc. em Zootecnia, aluno do curso de Doutorado em Zootecnia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Cx.P. 776, Porto Alegre - RS.

² Eng. Agr. Ph.D., Professor Adjunto do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Cx.P. 776, Porto Alegre - RS. miguel@d@vortex.ufrgs.br.

³ Eng. Agr. M.Sc. em Zootecnia, área de concentração Plantas Forrageiras. Cx. P. 441, Cascavel - PR.

⁴ Bolsista de Iniciação Científica - CNPq, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Cx.P. 776, Porto Alegre - RS.

Recebido para publicação em 06/10/1999.

para reduzir a acidez do solo, porém, esta prática, em determinadas circunstâncias, pode apresentar alguns inconvenientes. No caso de culturas muito sensíveis à acidez, um dos inconvenientes é o elevado custo, uma vez que altos níveis de corretivo são requeridos. Além disso, a correção do solo apenas na camada arável gera um forte gradiente de acidez ao longo do perfil, devido à pouca mobilidade desse corretivo. Isso faz com que haja uma concentração das raízes nas camadas superficiais do solo, tornando as plantas suscetíveis à deficiência hídrica, o que pode reduzir sua produção e persistência. Uma outra alternativa, para a superação, ou diminuição, desses problemas é a seleção de plantas mais tolerantes à acidez do solo.

A alfafa é reconhecida pela sua alta produtividade e qualidade da forragem produzida, podendo ser utilizada sob diferentes formas: como pastejo, feno ou silagem. Entretanto, essa forrageira é altamente exigente em solos férteis, bem drenados e com pH próximo a 7,0.

Assim, a expansão da cultura da alfafa em regiões tropicais é limitada pela sua alta sensibilidade a acidez do solo, tornando-se necessária a aplicação de elevadas quantidades de calcário.

Em função disso, foi desenvolvido, no Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul um programa de seleção de alfafa para solos ácidos, visando a obtenção de populações mais tolerantes a essas condições.

O presente trabalho teve por objetivo testar os progressos alcançados na tolerância de alfafa a solos ácidos. O mesmo foi desenvolvido avaliando-se populações melhoradas por dois ciclos de seleção, em solo e em solução nutritiva, em relação à população original. Essas populações foram avaliadas em cinco níveis de acidez do solo, procurando-se determinar os ganhos genéticos em cada um dos métodos de seleção, bem como compará-los entre si.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, RS, no período de 22/12/98 a 19/01/99.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, organizado em um esquema fatorial 3 x 5, com 3 populações e 5 níveis de pH, com 5 repetições, totalizando 75 unidades experimentais.

O germoplasma utilizado foi obtido através de coletas de sementes de plantas de alfafa da cultivar crioula, em populações que já vinham sendo cultivadas no Rio Grande do Sul. Essas sementes foram reunidas e formaram a população inicial para o trabalho de melhoramento, denominada "base". A partir dessa população, foram realizados dois ciclos de seleção em solo com pH 5,1 e saturação de alumínio de 2,5%, dando origem a população denominada "solo", e dois ciclos de seleção em solução nutritiva com 0,10 mg/l de Al e pH 4,5, originando a população denominada "solução" (CAETANO, 1998). As plantas foram avaliadas quanto ao comprimento de raízes e à altura da parte aérea para estimar-se a tolerância ao alumínio.

O solo utilizado foi coletado no município de André da Rocha. Constituiu-se de um latossolo húmico distrófico e álico, de textura argilosa, pertencente à unidade de mapeamento Durox. Este solo foi analisado e, posteriormente, dividido em 5 partes, cada uma recebendo uma dose diferente de corretivo. Em seguida, o solo foi incubado por 30 dias, mantido sempre em capacidade de campo. Utilizou-se como corretivo da acidez o óxido de cálcio e o óxido de magnésio, na proporção de 3:1. Após o período de incubação, foram realizadas novas análises de solo para os diferentes níveis de acidez, os quais constituíram os tratamentos do fator pH, que se encontram descritos na Tabela 1.

TABELA 1 - Resumo da análise de solo em função dos 5 níveis de acidez.

pH	Sat. Al (%)	P (mg/l)	K (mg/l)	M.O. (%)	Ca (cmol /l)	Mg (cmol /l)
4.9	17.2	4.6	28	0.7	0.5	0.3
5.0	6.3	2.9	25	0.7	1.9	0.9
5.2	1.2	2.8	24	0.7	2.7	1.6
5.7	0.0	2.8	30	0.7	4.2	2.6
6.6	0.0	3.6	26	0.7	6.0	3.4

Utilizaram-se vasos plásticos de 700 ml, onde foram colocados 800 g de solo seco, acrescidos de 156 g de água, para que fossem mantidos em 90% da capacidade de campo. Os vasos eram pesados diariamente, para a correção da umidade.

Em cada vaso foram semeadas 20 sementes escarificadas e, após a emergência, realizou-se um desbaste, deixando-se 10 plantas por vaso. No dia da implantação do experimento, logo após a semeadura, cada vaso sofreu um tratamento fúngico com clorothalonil a 0,2% e, logo após a emergência, cada vaso foi inoculado superficialmente com *Rhizobium meliloti*, estirpe 59, previamente selecionada para solos ácidos (HARTEL e BOUTON, 1989).

Após 28 dias do início da fase experimental, cada vaso foi aberto lateralmente e teve o seu conteúdo retirado integralmente na forma de um bloco. Este, por sua vez, foi colocado sobre uma peneira e passou a ser lavado, cuidadosamente, com água corrente, até que fosse possível individualizar as plantas. Essas foram dispostas sobre bandejas plásticas e tiveram o comprimento de sua parte aérea e radicular medidas em centímetros, com o auxílio de uma régua graduada.

A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância, com o auxílio do programa SANEST (ALVES et al., 1993). Para o teste de médias entre populações foi utilizado o Teste de Duncan a 5%, enquanto que, para a comparação de médias entre os níveis de pH, foi utilizada a regressão

polinomial. Também foi analisada a correlação linear entre as variáveis altura da parte aérea e comprimento de raízes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura da Parte Aérea

A análise estatística mostrou diferenças significativas entre a altura da parte aérea nos diferentes níveis de pH ($P < 0,001$), e entre as de populações ($P < 0,001$). Também apresentou como significativa a interação entre populações e níveis de pH ($P < 0,001$).

Como a interação entre os fatores foi significativa, o teste de comparações de médias entre populações foi realizado dentro de cada nível de pH e vice-versa. Os resultados da comparação entre populações pode ser visualizado na Tabela 2.

Através da Tabela 2 nota-se, principalmente nos níveis mais altos de pH, que houve progressos na tolerância de alfafa à acidez do solo. Apesar das diferenças se terem tornado significativas somente nos níveis mais altos de pH, a tolerância à acidez aparentemente é melhor expressa nos níveis mais baixos, vistas as diferenças relacionadas em porcentagem. Embora a utilização a campo das populações melhoradas não seja viável nos níveis mais baixos de pH, os mesmos se prestam para indicar as diferenças entre essas e a "população base"; diferenças que chegam a alcançar 67% em favor das primeiras.

TABELA 2 - Altura da parte aérea de populações de alfafa em solos com diferentes níveis de acidez

População	pH=4,9	pH=5,0	pH=5,2 altura (cm)	pH=5,7	pH=6,6
Base	0,5 (100)*a	0,6 (100) a	1,4 (100) a	3,4 (100) c	3,7 (100) b
Solo	0,7 (140) a	0,7 (117) a	1,6 (114) a	4,1 (121) b	4,2 (113) a
Solução	0,8 (160) a	1,0 (167) a	1,7 (121) a	4,5 (132) a	4,0 (108) a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. CV = 12,16%.

* Altura relativa à "população base".

CAETANO (1998), testando essas mesmas populações melhoradas em dois níveis de pH (5,5 e 6,6), também encontrou interação significativa entre o nível de pH e as populações, para crescimento da parte aérea, durante seis semanas. Naquela oportunidade, o autor constatou diferenças significativas entre as populações apenas no pH 6,6. Esta é a mesma tendência observada no presente trabalho, em que as diferenças se tornam significativas à medida que se aumenta o pH do solo.

Um fato importante, que também pode ser observado na Tabela 2, é que as populações selecionadas não tiveram seu potencial produtivo reduzido em solos corrigidos (pH 6,6), o que, eventualmente, pode acontecer, como relata BOUTON et al. (1982), tendo inclusive superado significativamente a "população base," nesse pH.

Os dados ainda mostram que, nas populações melhoradas, não ocorreram diferenças entre os níveis de pH 5,7 e 6,6, permitindo concluir que se obteve um grande progresso com relação a tolerância à

acidez, pelo menos quanto ao crescimento inicial da parte aérea. Atualmente, a recomendação de correção da acidez do solo para a cultura da alfafa é o índice SMP para pH 6,5. Se os testes a campo confirmarem os resultados deste trabalho, para essas populações melhoradas será possível sugerir a modificação dessa recomendação do índice SMP para pH 6,0. Essa mudança representaria, por exemplo, no caso do solo utilizado nesse experimento, uma economia de 3,5 toneladas de calcário por hectare (PRNT 100%).

Comparando-se as duas metodologias de seleção, os resultados indicam que, em geral, a seleção em solução nutritiva foi, no mínimo, tão eficiente quanto à seleção em solo. No nível de pH 5,7, a seleção em solução nutritiva foi significativamente superior à seleção em solo.

A evolução do crescimento em altura da parte aérea, conforme o nível de acidez do solo, pode ser visualizada na Figura 1, que apresenta as médias e as curvas ajustadas para cada população.

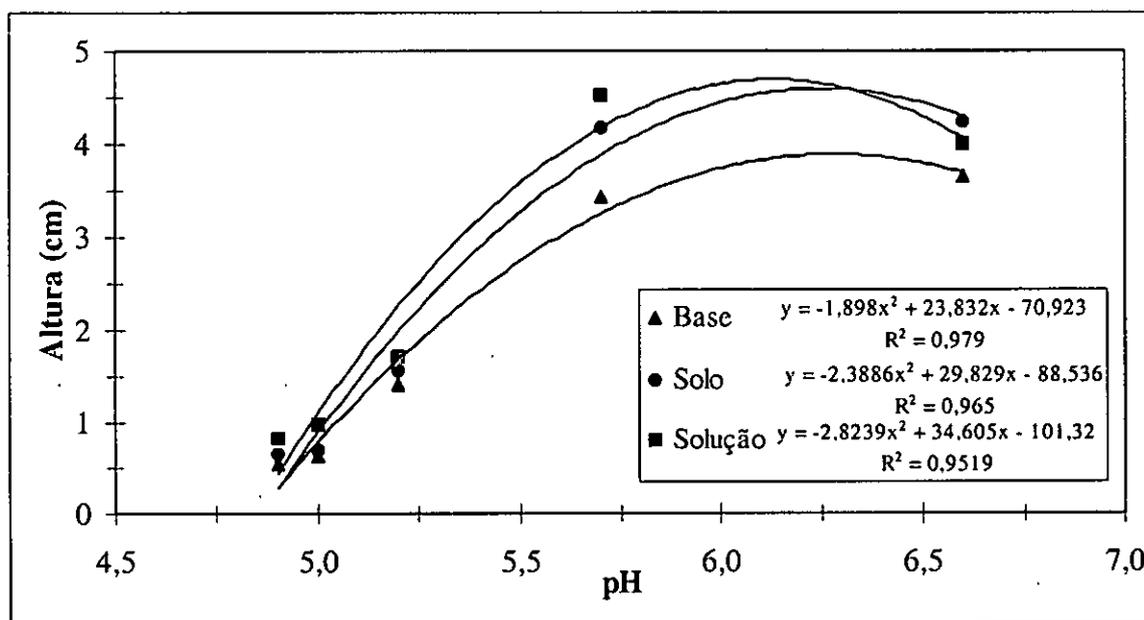


FIGURA 1 - Médias de altura da parte aérea de plantas de alfafa de três populações e suas curvas ajustadas, com as respectivas equações de regressão, em solos com diferentes níveis de acidez

Observa-se a tendência das populações melhoradas serem superiores à “população base” quanto ao crescimento em altura da parte aérea, em todos os níveis, demonstrando o progresso alcançado na tolerância de alfafa a solos ácidos. Para as três populações, a regressão quadrática foi significativa ($P < 0,00001$) e apresentou elevados coeficientes de determinação. Houve, nos três casos, a tendência de aumento na altura das plantas com o aumento do pH, com o maior valor de altura ocorrendo entre os pH 5,7 e 6,6.

Comprimento de Raízes

A análise estatística para esta variável mostrou

diferenças significativas entre os níveis de acidez do solo ($P < 0,001$). Já as diferenças entre as médias de populações apresentaram significância somente ao nível de 6% de probabilidade ($P < 0,06$). Os resultados ainda apontaram a interação entre os níveis de pH e as populações, como não significativa, concordando com os resultados de CAETANO (1998).

Como a interação não foi significativa, somente foi realizado o teste de comparações para as médias gerais de populações e não para as médias em cada nível de pH. Os dados encontram-se dispostos na Tabela 3..

TABELA 3 - Comprimento de raízes de plantas de alfafa de três populações em solos com diferentes níveis de acidez

População	pH					Média
	4,9	5,0	5,2	5,7	6,6	
Base	1,3 (100)*	1,5 (100)	7,2 (100)	17,5 (100)	21,8 (100)	9,8 (100) b
Solo	1,2 (92)	1,8 (120)	7,3 (101)	19,7 (113)	23,4 (107)	10,6 (108) ab
Solução	1,3 (100)	2,0 (133)	8,6 (119)	19,0 (109)	22,8 (105)	10,7 (109) a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. CV = 13,84%.

* Comprimento relativo à “população base”.

Nota-se que, também em termos de comprimento de raízes, as populações melhoradas, exceto no nível de pH 4,9, apresentaram forte tendência de mostrarem-se superiores à “população base”, quanto a tolerância à acidez. Ao contrário do que ocorreu com a altura da parte aérea (Tabela 2), no nível mais baixo de pH praticamente não houve diferenças entre as populações quanto ao comprimento de raízes, confirmando observações anteriores de que as raízes são mais sensíveis à acidez que as demais partes da planta. No nível de pH 4,9, o estresse pela saturação de alumínio (17,2%) foi muito elevado, e possivelmente inviabilizou a comparação entre as populações. A partir de pH 5,0, com uma saturação de alumínio de 6,3%, já foi possível observar-se a tendência de melhor desempenho das populações melhoradas, com diferenças em relação à “população base” que chegam aos 33%.

O Teste de Duncan apontou como significativa a diferença entre a média da “população solução” e a “população base”, indicando que a primeira foi estatisticamente superior à segunda. Já a diferença entre a “população solo” e a “base” não foi significativa. No entanto, ao observar-se os valores de comprimento médio de raízes, vê-se que a diferença entre a “população solução” e a “população solo” foi de apenas 0,1 cm, estando essa última, portanto, no limite da diferenciação significativa com relação à “população base”.

Ao testar estas mesmas populações em pH 5,5 e 6,6, CAETANO (1998) também encontrou diferença significativa apenas entre a média da população selecionada por dois ciclos em solução nutritiva e a média da “população base”.

O comprimento de raízes é uma característica importante para o crescimento e a produção de plantas, sobretudo sob condições de estresse. BOUTON (1996) afirmou que a principal característica de genótipos de alfafa considerados tolerantes a solos ácidos é a sua habilidade em melhor explorar o subsolo em água e nutrientes, uma vez que plantas sensíveis, nesses ambientes, apresentam raízes menores.

Quanto a essa variável, novamente a população selecionada em solução nutritiva foi, pelo menos, tão superior à “população base” quanto a população selecionada em solo. Isso demonstra, mais uma vez, que a metodologia de seleção em solução nutritiva, utilizada por CAETANO (1998) mostrou-se adequada para a identificação de plantas de alfafa

tolerantes à acidez, além de ser mais prática e rápida.

Como pode ser observado na Tabela 3, houve diferenças no comprimento de raízes do nível de pH 5,7 para pH 6,6 em todas as populações. Na Tabela 1, vê-se que em nenhum desses níveis houve presença de Al. CAETANO (1998), testando essas mesmas populações, também observou aumento no crescimento de raízes do nível de pH 5,5 para 6,6, e o atribuiu à baixa tolerância do *Rhizobium* à acidez, uma vez que observou nodulação somente no nível mais alto de pH. No presente trabalho, essa diferença não pode ser atribuída somente à baixa tolerância do *Rhizobium* à acidez, pois não houve uma mensuração detalhada da nodulação. Aparentemente, a mesma mostrou-se equivalente nos dois níveis de pH.

A literatura mostra que, em termos gerais, a sensibilidade da alfafa à acidez do solo está muito mais relacionada à atividade do Al do que diretamente à ação do pH. Segundo RUNGE e RODE (1991) e LANYON e GRIFFITH (1988), a alfafa pode crescer em solução de cultura até com pH 4, desde que haja níveis de Ca adequados, enquanto que em solo, pode tolerar pH 5,5 sem decréscimo na produção. Portanto, segundo as afirmações desses autores, no presente trabalho, o pH, por si só, não seria responsável pela diferença no comprimento de raízes observada em todas as populações entre os dois níveis mais altos de pH.

Sabe-se que plantas tolerantes à acidez possuem maior eficiência de absorção e aproveitamento de Ca e P (BALIGAR e FAGERIA, 1997; BALIGAR et al., 1989, a; BALIGAR et al., 1989, b; BALIGAR et al., 1987). BOUTON et al. (1986) também observaram esse fato em plantas de alfafa. BOUTON e SUMNER (1983) observaram que plantas de alfafa selecionadas para tolerância ao Al responderam mais a P do que plantas não selecionadas, independentemente do nível de calagem. Isso, aliado ao fato de que o nível de pH 6,6 apresentou mais Ca e Mg, devido ao corretivo aplicado, e um pouco mais de P em sua análise do que o nível de pH 5,7 (Tabela 1), parece explicar as diferenças observadas no crescimento de raízes entre esses níveis.

A Figura 2 mostra a evolução do comprimento de raízes de cada população conforme a variação de pH do solo.

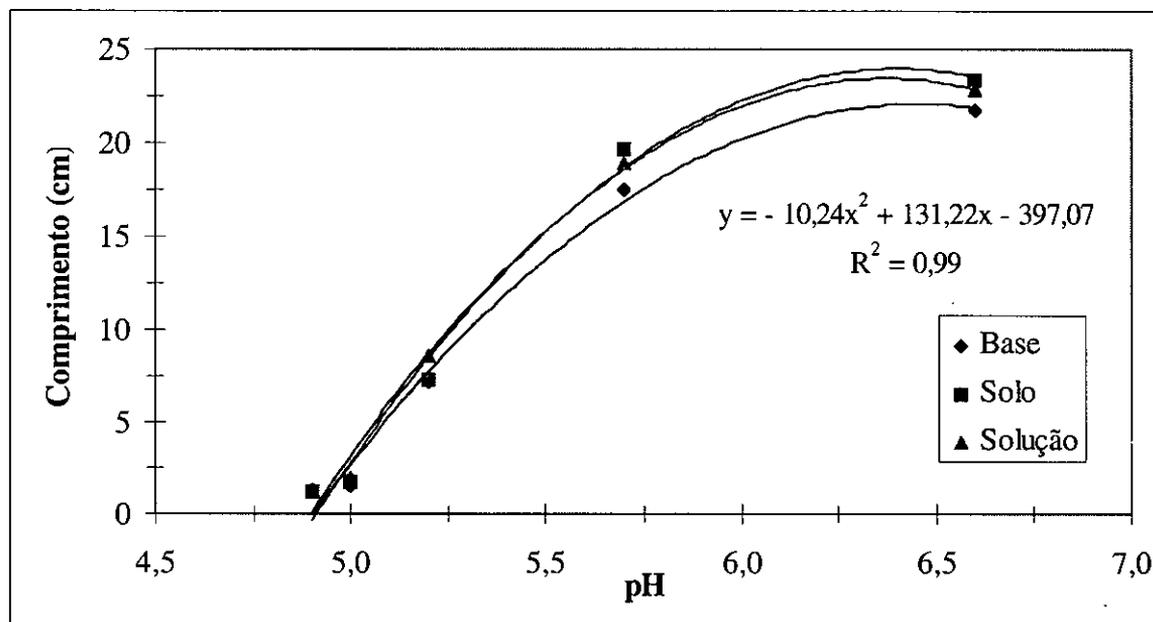


FIGURA 2 - Médias do comprimento de raízes de plantas de alfafa de três populações e suas curvas ajustadas, em solos com diferentes níveis de acidez, e equação de regressão e coeficiente de determinação gerais,

para as três populações

0,00001).

Também pode ser observado que, apesar das diferenças serem numericamente pequenas, as populações melhoradas sempre apresentaram um comprimento de raízes maior do que a da população base. Além disso, nota-se que o comportamento das curvas é praticamente o mesmo, o que resultou na falta de significância da interação entre populações e níveis de pH. Como a interação não foi significativa, o teste estatístico entre níveis de pH foi realizado com as médias gerais das três populações, o que gerou apenas uma equação de regressão, que foi altamente significativa ($P <$

Correlação Linear entre Altura da Parte Aérea e Comprimento de Raízes

Como o fator que mais contribuiu para a variabilidade dos dados foi o nível de acidez, além da correlação linear geral em todo o experimento entre a altura da parte aérea das plantas e o comprimento de raízes, foi analisada também a correlação linear entre essas variáveis dentro de cada nível de acidez. Os resultados encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4 - Correlação linear entre a altura da parte aérea e o comprimento de raízes de plantas de alfafa aos 28 dias, dentro de cada nível de pH e geral de todo o experimento

pH	4,9	5,0	5,2	5,7	6,6	Geral
Correlação	-0,03	0,78**	0,89**	0,58*	0,54*	0,97**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Em termos gerais, ocorreu uma grande correlação entre a altura da parte aérea e o comprimento de raízes ($r = 0,97$). Isso indica que, se selecionando plantas de alfafa até os 28 dias, por meio da altura da parte aérea, há grande possibilidade de que essas também sejam as plantas com o maior comprimento de raízes. Isso é importante devido ao fato da mensuração da altura da parte aérea ser muito mais fácil e rápida de se realizar do que a mensuração do comprimento de raízes.

Ao analisar-se as correlações dentro de cada nível, percebe-se que apenas no pH 4,9 não houve significância. Isso ocorreu, provavelmente, devido ao elevado estresse imposto às plantas, pois, apesar desse nível apresentar um pH apenas 0,1 menor que o nível seguinte, a saturação de alumínio no primeiro nível foi de 17,2%, contra 6,3% no segundo (Tabela 1), indicando o elevado poder de tamponamento do solo utilizado. Situações como essa justificam a importância de se considerar a saturação de alumínio, quando se trata de estudos sobre tolerância a acidez, como afirmaram RUNGE e RODE (1991).

Nos níveis de pH 5,0 e 5,2, a correlação apresentou-se maior e foi altamente significativa ($P < 0,01$), enquanto nos níveis de pH 5,7 e 6,6 voltou a ser mais baixa. Observa-se que, justamente nos níveis de pH que se apresentam mais adequados aos trabalhos de seleção de alfafa para solos ácidos (pH entre 5,0 e 5,5), a correlação entre a altura da parte aérea e o comprimento de raízes mostrou-se mais elevada, permitindo vislumbrar-se a possibilidade de se trabalhar com um elevado número de plantas para seleção, baseada apenas na primeira característica, em um período de aproximadamente 30 dias.

CAETANO (1998), trabalhando com essas mesmas populações, encontrou correlação significativa entre a altura da parte aérea e o comprimento de raízes ($r = 0,52$) com pH 5,5. Já com pH 6,6 a correlação não foi significativa, contrariando os dados do presente trabalho, embora aquele autor tenha avaliado as plantas ao final de 6 semanas.

Ganhos Genéticos

Em média, os ganhos genéticos calculados através da divisão da média da população melhorada pela média da "população base" multiplicada por 100 (PINTO, 1995), apresentaram os seguintes resultados: seleção em solo para altura da parte

aérea = 17,7%; seleção em solução para altura da parte aérea = 25,0%; seleção em solo para comprimento de raízes = 8,2%; seleção em solução para comprimento de raízes = 9,2%.

Esses valores são muito significativos, sobretudo se considerarmos que a possibilidade de redução da recomendação de calagem propiciaria uma grande economia e, que o período no qual se realizou o trabalho foi curto (apenas dois ciclos de seleção). Além disso, a alfafa é uma espécie autotetraplóide, com genética complexa, apresentando características específicas com relação ao trabalho de melhoramento.

Outro fato que merece destaque é que durante a condução do experimento, se observou significativa variabilidade entre as plantas dentro de cada população, o que permite concluir que novos avanços são possíveis de serem alcançados por meio de novos ciclos de seleção.

Assim, a análise dos dados permite concluir que se obteve progresso na tolerância de alfafa a solos ácidos tanto em termos de crescimento da parte aérea, quanto de raízes. Entretanto, para uma constatação dos ganhos obtidos em termos de produção de matéria seca e persistência, ainda se faz necessária a realização de testes a campo.

CONCLUSÕES

- As populações melhoradas apresentaram progressos na tolerância a solos ácidos em relação à população original;
- A seleção para tolerância à acidez não reduziu o potencial produtivo das populações melhoradas na ausência de alumínio;
- Houve correlação positiva e significativa entre a altura da parte aérea e o comprimento de raízes;
- O método de seleção em solução nutritiva é, no mínimo, tão eficiente quanto a seleção em solo, para tolerância de alfafa a solos ácidos;
- Os ganhos genéticos obtidos pela seleção em solo para altura da parte aérea e comprimento de raízes, e pela seleção em solução para essas mesmas características foram, respectivamente, 17,7%, 8,2%, 25,0% e 9,2%;
- Ainda há considerável variabilidade genética dentro das populações, permitindo novos ciclos de seleção.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALVES, M.I.F.; MACHADO, A.A.; ZONTA, E.P. Tópicos especiais de estatística experimental utilizando o SANEST (Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores). In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 5: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 38; 1993, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática, Departamento de Estatística, 1993. p. 1-110.
- BALIGAR, V.C.; ELGIN, J.H.; FOY, C.D. Variability in alfalfa for growth and mineral uptake and efficiency ratios under aluminum stress. *Agronomy Journal*, Madison, v. 81, p. 223-229, 1989, a.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: PLANT-SOIL INTERACTION AT LOW PH: SUSTAINABLE AGRICULTURE AND FORESTRY PRODUCTION, 1997, Belo Horizonte. *Proceedings...* Belo Horizonte: SBCS, 1997. p. 75-96.
- BALIGAR, V.C.; SANTOS, H.L. dos; PITTA, G.V.E.; et al. Aluminum effects on growth, grain yield and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes. *Plant and Soil*, Norwell, v. 116, p. 257-264, 1989, b.
- BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J.; KINRAIDE, T.B.; et al. Aluminum effects on growth, mineral uptake, and efficiency ratios in red clover cultivars. *Agronomy Journal*, Madison, v. 79, p. 1038-1044, 1987.
- BOUTON, J.H.; HAMMEL, J.E.; SUMNER, M.E. Alfalfa, *Medicago sativa* L., in highly weathered, acid soil IV. Root growth into acid subsoil of plants selected for acid tolerance. *Plant and Soil*, Norwell, v. 65, p. 187-192, 1982.
- BOUTON, J.H. Screening the alfalfa core collection for acid soil tolerance. *Crop Science*, Madison, v. 36, p. 198-200, 1996.
- BOUTON, J.H.; SUMNER, M.E. Alfalfa, *Medicago sativa* L., in highly weathered, acid soils: field performance of alfalfa selected for acid tolerance. *Plant and Soil*, Norwell, v. 74, p. 431-436, 1983.
- BOUTON, J.H.; SUMNER, M.E.; HAMMEL, J.E.; SHAHANDEH, H. Yield of an alfalfa germplasm selected for acid soil tolerance when grown in soils with modified subsoils. *Crop Science*, Madison, v. 26, p. 334-336, 1986.
- CAETANO, J.H.S. **Seleção de alfafa para solos ácidos**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 129p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1998.
- FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science*, New York, v. 19, p. 97-149, 1992.
- HARTEL, P.G.; BOUTON, J.H. *Rhizobium meliloti* inoculation of alfalfa selected for tolerance to acid, aluminum-rich soils. *Plant and Soil*, Norwell, v. 116, p. 283-285, 1989.
- LANYON, L.E.; GRIFFITH, W.K. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON et al. (Eds.). **Alfalfa and alfalfa improvement**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1988. p. 334-364.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 253 p.
- PINTO, R.J.B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 1995. 275 p.
- RUNGE, M.; RODE, N.W. Effects of soil acidity on plant association. In: WHICH, B.; SUMNER, M.E. (Eds.). **Soil Acidity**, New York, 1991. p. 183-202.