

EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES POR ESPÉCIES FORRAGEIRAS DE INVERNO¹

NORTON FATTORE² e IBANOR ANGHINONI³

RESUMO – O conhecimento dos fatores que determinam as diferenças entre espécies quanto à eficiência na absorção de nutrientes deve ser aproveitado para o cultivo das mesmas sob condições específicas de fertilidade do solo. Quatro forrageiras de inverno: aveia, azevém, trevo subterrâneo e ervilhaca foram caracterizadas quanto à eficiência de absorção de nutrientes. Parâmetros cinéticos de absorção de nitrogênio (V_{max} , K_m e C_{min}), fósforo e potássio, e morfológicos de raiz (comprimento, volume, raio e superfície), foram determinados em ensaio com solução nutritiva em câmara de crescimento. As diferenças entre as espécies na absorção de nutrientes foram relacionadas à morfologia do sistema radicular e à cinética de absorção de nutrientes. Maior taxa de absorção de nitrogênio (por unidade de superfície de raiz) na ervilhaca e no trevo subterrâneo foi relacionada principalmente a altos valores de V_{max} , ao passo que para o fósforo e o potássio no azevém, a altos valores de V_{max} e baixos valores de K_m e C_{min} .

Termos para indexação: nutrição de plantas, solução nutritiva, raízes, aveia, azevém, trevo, ervilhaca.

EFFICIENCY IN NUTRIENT ABSORPTION BY WINTER FORAGE CROPS

ABSTRACT – The knowledge of the factors that determine differences among plant species in the efficiency of nutrient absorption is important to select plants to be grown in specific soil fertility conditions. Four winter forage crops: oat, ryegrass, subterranean clover and vetch were characterized in relation to the efficiency of nutrient uptake. Plant kinetic parameters (V_{max} , K_m e C_{min}) for nitrogen, phosphorus and potassium absorption, and root morphological characteristics (length, volume, radius and surface) were determined in a nutrient solution experiment. Differences among forage crops were due to the ability of plants to absorb and due to root morphology. Higher rate of nitrogen uptake (per unit of root surface) for vetch and for subterranean clover were mainly related to high V_{max} values, and of phosphorus and potassium, for ryegrass, to high V_{max} and low K_m and C_{min} values.

Index terms: plant nutrition, nutrient solution, roots, oats, ryegrass, clover, vetch.

INTRODUÇÃO

A característica comum de baixa disponibilidade de nutrientes em solos ácidos impõe restrições ao crescimento das plantas, e por consequência, no rendimento de biomassa ve-

getal e de grãos. Diferenças de comportamento entre espécies, e mesmo entre genótipos, com relação às características de fertilidade do solo, têm sido relacionadas às características de absorção, translocamento e utilização de nutrientes (Clark 1983). Estudos com genótipos de espécies produtoras de grãos mostraram que, de uma forma geral, as características de translocação e utilização de nitrogênio e potássio foram mais importantes do que as de absorção (Clark 1983, Furlani et al. 1986a e b). Para fósforo, a eficiência de absorção foi mais importante em genótipos de sorgo, milho e arroz de sequeiro (Furlani et al. 1983, 1984

¹ Aceito para publicação em 15 de julho de 1991
Extraído da Dissertação de Mestrado em Solos, do primeiro autor, Fac. de Agron. da UFRGS. Realizado com recursos financeiros do CNPq e FINEP.

² Eng.-Agr. bolsista da CAPES.

³ Eng.-Agr., Prof.-Adjunto, Dep. de Solos, Fac. de Agron. UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 90001 Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

e 1985), enquanto a eficiência de utilização foi mais importante para genótipos de arroz irrigado (Furlani et al. 1983).

A habilidade das plantas em absorver nutrientes é decorrente de suas características morfológicas, taxa de crescimento e de distribuição do sistema radicular (McLachlan 1976), e da cinética de absorção de nutrientes (Epstein 1975). Variações nos parâmetros morfológicos de raiz (volume, comprimento, raio e superfície) e nos cinéticos de absorção (V_{max} , K_m e C_{min}) de nutrientes (fósforo, potássio, cálcio e magnésio) têm sido obtidas principalmente com espécies produtoras de grãos (Nielsen & Barber 1978, Oliveira & Mielniczuk 1978, Shenk & Barber 1979a, Vilela & Anghinoni 1984, Furlani 1988, Anghinoni et al. 1989). Tais parâmetros são também necessários para operar modelos que descrevem quantitativamente os processos de transferência dos nutrientes do solo para o interior das plantas dentro de um conceito mais amplo de disponibilidade de nutrientes.

A pecuária é uma atividade importante para o estado do Rio Grande do Sul. Existe um período de entressafra no inverno, com perda de peso pelos animais devido à carência alimentar provocada pela redução drástica do crescimento da pastagem nativa. O conhecimento das características de plantas forrageiras de estação fria, importantes para explicar o comportamento distinto em relação à eficiência de absorção de nutrientes, é fundamental para a escolha da espécie a ser cultivada em determinada condição de fertilidade do solo. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de caracterizar quatro espécies forrageiras de inverno: duas gramíneas e duas leguminosas, quanto à sua eficiência em absorver nitrogênio, fósforo e potássio.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas quatro espécies forrageiras anuais de inverno, sendo duas gramíneas: azevém anual (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena strigosa*), e duas leguminosas: trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*) e ervilhaca (*Vicia spp*).

O ensaio foi conduzido em solução nutritiva completa, em câmara de crescimento, com duração do dia igual a dez horas, umidade relativa de 60 a 70%, radiação de $1,5 \times 10^{-4}$ cal. cm^{-2} ao nível da planta, temperatura diurna de $25^{\circ} \pm 1^{\circ}$, e noturna de $19^{\circ} \pm 1^{\circ}$. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições.

As sementes das quatro forrageiras foram previamente tratadas com HgCl 1:1000 e álcool etílico, com o objetivo de eliminar bactérias e fungos presentes na superfície das sementes. As sementes foram pré-germinadas em cartuchos de papel-toalha acondicionados em recipientes contendo uma solução de $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 0,67mM. Quando as plântulas apresentaram um comprimento de radícula ao redor de 4 cm, foram transplantadas quatro plantas para cada vaso de plástico, com capacidade de 2,6 litros, contendo solução nutritiva. Com a seguinte composição: $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 1mM; KH_2PO_4 1mM; $MgSO_4$ 1mM; NH_4NO_3 0,36mM; Fe-EDTA 73 μ M; H_3BO_3 46 μ M; $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 9,1 μ M; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,77 μ M; $CuSO_4$ 31 μ M; $NaMoO_4$ 0,51 μ M.

Foi realizado o arejamento constante da solução. O pH da solução era ajustado a cada três dias, para 5,5, durante o período experimental. A solução nutritiva foi utilizada na metade da concentração original nas duas primeiras semanas, sendo trocada a cada três dias. Posteriormente, as trocas foram realizadas a cada dois dias, sendo utilizada na concentração original.

As forrageiras foram caracterizadas quanto à absorção de nitrogênio, fósforo e potássio com base nas curvas completas de depleção, conforme método descrito por Claassen & Barber (1974), aos 71 dias após o transplante. No dia anterior às determinações, a solução nutritiva foi trocada, omitindo-se o nitrogênio, o fósforo e o potássio, e mantendo-se os demais nutrientes na metade da concentração original. As plantas foram mantidas nessa solução por um período de 18 horas. Ao término deste período, foi adicionado a essa solução, 100 μ M de nitrogênio $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ e 30 μ M de fósforo (na forma de KH_2PO_4) para todas as espécies estudadas, e 200 μ M de potássio (nas formas KH_2PO_4 + KCl) para aveia e azevém, 150 μ M para ervilhaca e 100 μ M para trevo subterrâneo, respectivamente.

As amostragens foram realizadas através da retirada de alfuotas de 20ml da solução, em intervalos de uma hora, nas primeiras cinco horas, e intervalos de duas horas no restante das coletas. O nível da solução inicial do vaso foi mantido através da adição de

esferas de plástico, compensando a retirada das alíquotas de solução, bem como das perdas de água por evapotranspiração. O tempo de amostragem correspondeu a um período de 19 horas, sendo que a última coleta realizada para a obtenção do Cmin (concentração do nutriente na solução, na qual seu influxo líquido é igual a zero) foi retirada 30 horas após o início desse período.

Os teores de nitrogênio e potássio nas alíquotas das curvas de depleção foram analisados segundo os métodos descritos por Tedesco et al. (1985). Os teores de fósforo foram analisados segundo método descrito por Murphy & Riley (1962). Os valores dos parâmetros cinéticos de absorção Vmax, velocidade máxima de absorção de nutrientes, e Km, concentração do nutriente em que ocorre a metade da velocidade máxima de absorção, foram determinados graficamente, segundo Oliveira & Mielniczuk (1978).

Após o corte das plantas, ao final da coleta das alíquotas, procedeu-se à separação da parte aérea e das raízes. O tecido vegetal foi colocado em estufa a 60°C por 72 horas. O material seco foi pesado para a obtenção dos rendimentos de matéria seca e moído até passar por peneira nº 20. Posteriormente foi digerido e os teores de nitrogênio, fósforo e potássio foram analisados segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1985). Das raízes, procedeu-se à determinação do comprimento radicular, conforme método descrito por Tennant (1975), do raio médio, da superfície e da taxa de crescimento radicular, calculados segundo Schenk & Barber (1979b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros morfológicos do sistema radicular variaram com as espécies estudadas (Tabela 1). As gramíneas apresentaram um maior volume de raízes. Estas tende-

ram a apresentar raízes mais grossas, determinando valores de superfície radicular superiores. Parâmetros de raízes que determinem maior superfície radicular, são características desejáveis para plantas a serem implantadas em condições de baixa fertilidade do solo ou quando a difusão é o mecanismo de suprimento de nutrientes predominante (Vilela & Anghinoni 1984).

O menor valor de raio foi observado em plantas de trevo subterrâneo e o menor valor de superfície radicular foi observado nas plantas de ervilhaca, não havendo diferença entre as demais espécies. Este último parâmetro, que é resultante da conjugação dos valores de comprimento e diâmetro radicular, expressa o efeito das características morfológicas na capacidade das plantas em contactar os nutrientes necessários ao seu crescimento. A ausência de maior variação neste parâmetro pode ser devida aos elevados níveis de nutrientes em que foram cultivadas as plantas. Schenk & Barber (1979a) observaram que a variação da superfície radicular entre cinco genótipos de milho, ocorreu somente em baixos níveis de fósforo. Este comportamento, segundo os autores, foi devido a mecanismos de compensação das plantas, pois com a diminuição da concentração de fósforo na solução ocorreu a emissão de raízes mais finas e mais longas, no intuito de aumentar a superfície de absorção.

A ervilhaca apresentou menor comprimento, e juntamente com trevo subterrâneo, a menor taxa de crescimento de raízes. Estes resultados indicam, para um mesmo intervalo de

TABELA 1. Comprimento, raio médio, superfície média, volume e taxa de crescimento radicular de forrageiras cultivadas em solução nutritiva.

Forrageiras	Comprimento	Raio médio	Superfície	Volume	Taxa de crescimento
	cm.vaso ⁻¹	mm.10 ⁻¹	cm ² .vaso ⁻¹	cm ³ .vaso ⁻¹	10 ⁻⁷ cm.s
Aveia	10995a	0,81a	548a	2,2a	7,7a
Azevém	7508b	0,86a	407a	1,8b	5,7ab
Trevo subterrâneo	9119ab	0,62b	350a	1,1c	3,0b
Ervilhaca	4430c	0,78a	214b	0,8c	3,9b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey: P < 0,05).

tempo, uma menor superfície efetiva de absorção. Silberbrush & Barber (1983), baseados em análise de sensibilidades através de modelo de quantificação do processo de absorção de nutrientes, concluíram que dentre todos os parâmetros da planta (morfológicos e fisiológicos) e do solo, a taxa de crescimento radicular é, isoladamente, o que mais afeta as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio absorvidos.

Os valores dos parâmetros cinéticos de absorção obtidos variaram com as espécies estudadas e com o nutriente considerado (Tabela 2). Isto também foi observado em genótipos de milho (Nielsen & Barber 1978, Schenk & Barber 1979b), de soja (Vilela & Anghinoni 1984), de arroz (Furlani 1988) e entre genótipos ou espécies (Anghinoni et al. 1989). Os valores de V_{max} (velocidade máxima de absorção) para nitrogênio (NO) demonstram um maior potencial do trevo subterrâneo e ervilhaca em absorver este nutriente. Por outro lado, os menores valores da constante de Michaelis-Menten (K_m) e de C_{min} , apresentados pelas gramíneas, demonstram uma maior eficiência destas em absorver nitratos em condições de baixa concentração no solo. Da mesma forma, Warncke & Barber (1974) relacionaram as características diferenciais de absorção de nitrato em plantas de milho, bromus e sorgo forrageiro, cultivados em solução nutritiva, com a capacidade e eficiência dessas plantas em absorver os nitratos do solo

em diferentes condições de disponibilidade desse nutriente. Os autores observaram que os valores de C_{min} , foram superiores (1,5 e 3,0 vezes) aos obtidos neste trabalho com as gramíneas, e menores (8 a 12 vezes) do que as leguminosas.

Uma análise dos parâmetros cinéticos de absorção de nitrato foi realizada através da substituição destes valores na equação de Michaelis-Menten, que descreve as taxas de absorção de um íon em função da sua concentração na solução, conforme modificação proposta por Claassen & Barber (1974); $v = (V_{max} \cdot C / (K_m + C)) - E$, onde E = taxa de efluxo de nutrientes. Observa-se na Fig. 1 que as plantas de azevém e aveia foram mais eficientes na absorção de nitrato, quando este se encontrava em baixas concentrações na solução ($< 50 \mu M$). Por outro lado, as plantas de ervilhaca e trevo apresentaram maior eficiência em absorver nitrato em concentrações mais elevadas. Mugwira et al. (1980) observaram diferenças na absorção de nitrato entre variedades de triticale somente em baixas concentrações desse íon ($< 100 \mu M$).

Os valores de V_{max} para fósforo não variaram entre as espécies estudadas (Tabela 2). Entretanto, os valores de K_m e C_{min} foram menores nas plantas de aveia e azevém, principalmente na comparação com a ervilhaca, sugerindo uma maior eficiência daquelas plantas em absorver o fósforo do solo em condições de baixa disponibilidade. Anghinoni et

TABELA 2. Valores de V_{max} , K_m e C_{min} de nitrogênio, fósforo e potássio de forrageiras cultivadas em solução nutritiva.

Forrageiras	Nitrogênio			Fósforo			Potássio		
	V_{max}	K_m	C_{min}	V_{max}	K_m	C_{min}	V_{max}	K_m	C_{min}
	pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹	---uM---		pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹	---uM---		pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹	---uM---	
Aveia	28,6b	26,2b	0,0c	1,74a	11,2bc	0,06b	21,8b	15,0c	0,0b
Azevém	34,7ab	24,4b	0,0c	3,21a	5,5c	0,02b	53,6a	7,9c	0,0b
Trevo subterrâneo	56,7ab	54,0a	8,5b	2,05a	17,9ab	0,16ab	13,5b	104,4b	59,5
Ervilhaca	68,7a	50,9a	11,7a	2,93a	25,4a	0,24a	18,8b	128,2a	88,7a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey: $P < 0,05$).

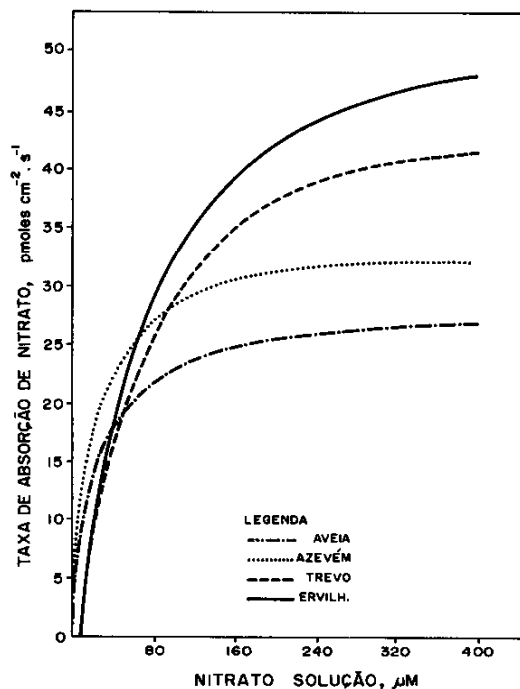


FIG. 1 - Estimativa da taxa de absorção de nitrato por quatro espécies forrageiras cultivadas em solução nutritiva na câmara de crescimento.

al. (1989) obtiveram valores de V_{max} para fósforo em plantas de trigo, milho, arroz e aveia forrageira, inferiores aos obtidos no presente trabalho. Da mesma forma, foram inferiores os valores de K_m e C_{min} apresentados por estes autores. A variação nos resultados tanto pode ser devida às diferenças inerentes às espécies, quanto pelas diferenças na idade das plantas no momento da sua caracterização. As menores variações observadas no V_{max} , sugerem que este parâmetro seja pouco sensível na diferenciação destas espécies. No entanto, Jungk (1974) observou que o V_{max} era o parâmetro mais sensível, apresentando as maiores variações entre plantas de milho, feijão, pepino e tomate.

Na análise conjunta dos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo (Fig. 2), observa-se que as plantas de azevém demonstraram maior eficiência na absorção deste nutriente,

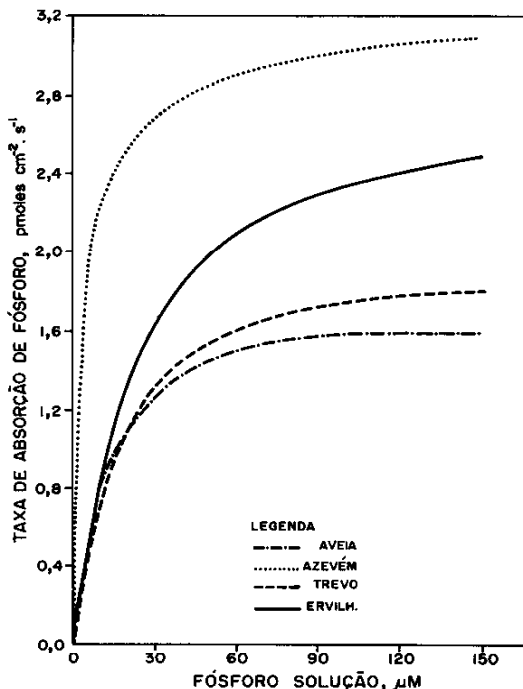


FIG. 2 - Estimativa da taxa de absorção de fósforo por quatro espécies forrageiras cultivadas em solução nutritiva na câmara de crescimento.

tanto em condições de alta quanto de baixa disponibilidade. As plantas de trevo e aveia comportaram-se de forma semelhante, porém, com menor intensidade que o azevém. O comportamento das plantas de ervilhaca foi intermediário ao das plantas de azevém, trevo e aveia. Com base nesses dados, poder-se-ia supor que a cultura do azevém responderia mais eficientemente na absorção de fósforo em solos que receberam, ou não, aplicação de adubos fosfatados. As plantas de ervilhaca, trevo e aveia não apresentaram diferenças quanto à taxa de absorção de fósforo, quando em baixas concentrações na solução (0 a $15\mu\text{M}$). Entretanto, acima dessa concentração ocorreram diferenças entre a ervilhaca, o trevo e a aveia, sugerindo maiores respostas da ervilhaca na absorção de fósforo, pelo aumento da sua concentração na solução.

A análise isolada dos parâmetros cinéticos

de absorção de potássio (Tabela 2) sugere que, tanto pelo alto valor de V_{max} quanto pelos baixos valores de K_m e C_{min} , o azevém deve ser a planta mais eficiente na absorção deste nutriente. Espera-se também que as gramíneas (azevém e aveia) respondam mais eficientemente na absorção de potássio em condições de baixa disponibilidade deste nutriente (baixos valores de K_m e C_{min}). Anghinoni et al. (1989) obtiveram valores de V_{max} de potássio para trigo, milho, arroz, aveia e colza, semelhantes aos valores obtidos para as plantas estudadas. O mesmo foi observado para os valores de K_m e C_{min} para a aveia e o azevém. Entretanto, para as duas leguminosas estudadas, os valores foram superiores.

A conjugação dos parâmetros de absorção de potássio apresentados na Fig. 3 mostra uma grande diferença entre plantas, resultante da

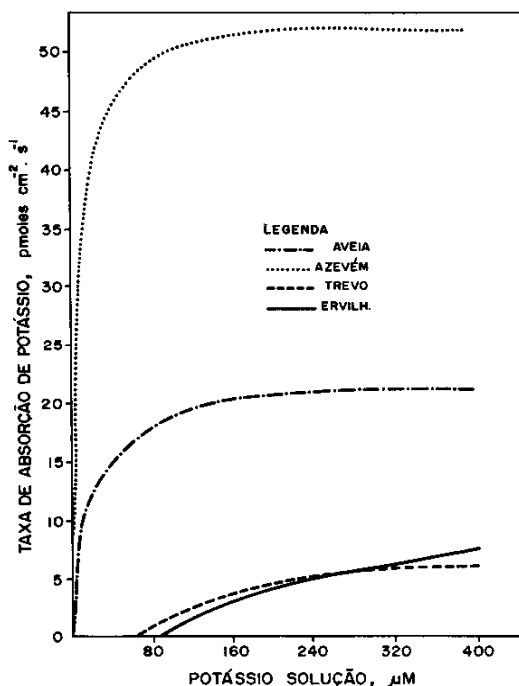


FIG. 3 - Estimativa da taxa de absorção de potássio por quatro espécies forrageiras cultivadas em solução nutritiva na câmara de crescimento.

interação dos parâmetros individuais. Dessa forma, observa-se que a cultura do azevém apresentou os maiores valores de taxas de absorção de potássio em situações de alta e baixa disponibilidade deste nutriente. Este comportamento está ligado, principalmente, aos valores de V_{max} e K_m apresentados. A aveia apresentou um comportamento intermediário ao das plantas de azevém e leguminosas, enquanto estas últimas apresentaram uma baixa eficiência na taxa de absorção de potássio.

Visualiza-se pelas figuras apresentadas, um comportamento diferenciado das culturas estudadas em relação à absorção de nitrato, fósforo e de potássio em solução. Observa-se que, tanto os valores de V_{max} quanto os de K_m e C_{min} , foram responsáveis pelas variações nas taxas de absorção destes nutrientes. As diferenças observadas nos valores de V_{max} entre as espécies podem estar relacionadas, da mesma forma, ao estágio de crescimento em que se encontravam as plantas no momento da sua caracterização. As plantas de azevém, ervilhaca e trevo encontravam-se em fase de crescimento vegetativo, enquanto as de aveia estavam em fase de pré-florescimento. Dessa forma, os menores valores de influxo observados na cultura da aveia, podem ser decorrentes do seu estado fisiológico mais avançado. A exemplo do que foi constatado por Warncke & Barber (1974), observou-se uma variação nas taxas de crescimento radicular entre as culturas estudadas (Tabela 1). Dessa forma, as plantas de aveia apresentaram as maiores taxas de crescimento radicular, refletindo-se numa maior superfície e assim tendendo a um menor valor de influxo de nutrientes. As plantas de azevém e ervilhaca obtiveram valores intermediários, enquanto que o trevo apresentou valores menores de crescimento radicular.

CONCLUSÕES

1. Houve diferenças entre as forrageiras de inverno estudadas quanto à eficiência de absorção de nitrogênio, fósforo e potássio.
2. Tais diferenças foram condicionadas tanto à magnitude e morfologia do sistema ra-

dicular, quanto à cinética de absorção dos nutrientes.

3. De uma maneira geral, as plantas de aveia e azevém apresentaram taxa de crescimento e volume de raízes superiores às do trevo subterrâneo e ervilhaca.

4. As espécies diferenciaram-se também na capacidade de absorção dos nutrientes estudados: a maior taxa de absorção de nitrogênio (por unidade de superfície radicular) no trevo subterrâneo e na ervilhaca foi atribuída principalmente aos valores de V_{max} , ao passo que para o fósforo e o potássio no azevém, a altos valores de V_{max} e baixos de K_m e C_{min} .

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diferentes espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.355-361, 1989.
- CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration influx and flux into roots of intact plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v.54, p.564-568, 1974.
- CLARK, R. B. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. In: SARIC, M. R.; LOUGHMAN, B. C. (Eds.). **Genetic aspects of plant nutrition**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1983. p.49-70.
- EPSTEIN, E. Transporte iônico ativo nas células e tecidos. In: _____. **Nutrição mineral das plantas**; princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. Cap. 6, p.88-125.
- FURLANI, A. M. C. Variações nos parâmetros de absorção de fósforo de três linhagens de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.77-80, 1988.
- FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; AZZINI, L. E. Variabilidade entre linhagens de arroz na absorção e utilização de potássio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.135-141, 1986a.
- FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; AZZINI, L. E.; CAMARGO, O. B. A. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo, em solução e em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.3, p.291-303, 1983.
- FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Crescimento diferencial de linhagens de milho em solução nutritiva com baixo nível de potássio. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.303-316, 1986b.
- FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção ou utilização de fósforo em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.44, n.1, p.129-147, 1985.
- FURLANI, A. M. C.; CLARK, R. B.; MARANVILLE, J. W.; ROSS, W. M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake rate and distribution on plants. **Journal Plant Nutrition**, New York, v.7, n.7, p.1113-1126, 1984.
- JUNGK, A. Phosphate uptake characteristics of intact root systems in nutrient solution as affected by plant species age and P supply. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM IN PLANT ANALYSIS AND FERTILIZER PROBLEMS, 7., 1974. Hanover. **Proceedings**. Hanover: German Society of Plant Nutrition, 1974. p.185-196.
- McLACHLAN, K. D. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. **Australian Journal of Soil Research**. Melbourne, v.27, p.323-341, 1976.
- MUGWIRA, L. M.; ELGAWHARY, S. M.; ALLEN, A. E. Nitrate uptake effectiveness of different cultivars of triticale, wheat and rye. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.585-588, 1980.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analitica Chimica Acta**, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.
- NIELSEN, N. E.; BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v.10, p.695-698, 1978.
- OLIVEIRA, R. F.; MIELNICZUK, J. Caracterização de três cultivares de soja *Glycine max*

- (L.) Merrill quanto à eficiência de absorção e utilização de K. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.14, p.251-260, 1978.
- SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.880-883, 1979a.
- SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v.7, p.1921-1924, 1979b.
- SILBERBRUSH, M.; BARBER, S.A. Sensitivity analysis of parameters used in simulating K uptake with a mechanistic mathematical model. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.851-854, 1983.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5).
- TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Applied Ecology**, London, v.63, p.995-1001, 1975.
- VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética, da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.8, p.91-96, 1984.
- WARNCKE, D. D.; BARBER, S. A. Nitrate uptake effectiveness of four plant species. **Journal of Environmental Quality**, West Lafayette, v.3, n.1, p.28-30, 1974.