

## Efeito de diferentes níveis de disponibilidade de água do solo sobre o desenvolvimento de plantas jovens de erva-mate

José Carlos Pinto<sup>1\*</sup> e Feliciano Edi Vieira Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

<sup>2</sup>Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91540-000, Porto Alegre-Rio Grande do Sul, Brazil. \*Author for correspondence.

**RESUMO.** A influência de diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo sobre o desenvolvimento de mudas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) foi estudada sob condições controladas. As mudas foram cultivadas durante o período de janeiro a novembro, perfazendo um total de 45 semanas. Os tratamentos corresponderam a 3 níveis de disponibilidade de água para as plantas: tratamento 1 (T-1): teor de água do substrato a 0,3 atm de tensão; tratamento 2 (T-2): teor de água do substrato correspondente a 80% da quantidade de T-1 e tratamento 3 (T-3): teor de água do substrato correspondente a 65% da quantidade de T-1. Como parâmetros de desenvolvimento foram avaliados: altura do caule, número de folhas e área foliar. Os melhores resultados, com incremento significativo dos valores dos parâmetros estudados, foram constatados no tratamento T-2 em relação a T-1 e T-3. Em T-1 parece ter havido excesso de água no substrato, limitando a disponibilidade de O<sub>2</sub> para as raízes, afetando negativamente o desenvolvimento da parte aérea. No T-3, a expressão do desenvolvimento foi limitada pela deficiência de água no substrato. Num sistema de produção de mudas, o processo de irrigação deverá ser controlado.

**Palavras-chave:** *Ilex paraguariensis*, déficit hídrico, resposta fisiológica, desenvolvimento.

**ABSTRACT.** Effect of different soil water available levels on the development of young plants of “erva-mate”. The influence of different levels of soil water availability on the development of young plants of “erva-mate” (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) was studied under controlled conditions. The plants were cultivated during the period from January to November, a total of 45 weeks. The foreseen treatments corresponded to 3 water available levels for plants: treatment 1 (T-1): soil moisture at 0.3 atm of tension, treatment 2 (T-2): soil moisture at 80% of water quantity used in T-1, and treatment 3 (T-3): soil moisture at 65% of water quantity used in T-1. The height of the plants, the number of the leaves, and the total leaf area were evaluated. The best results, with significant increment of the values of the studied parameters, were verified in treatment T-2 in relation to T-1 and T-3. In the treatment T-1, it seems that was an excess of water in the soil, limiting the availability of O<sub>2</sub> for the roots, depressing the development of the aerial part. On the other hand, in T-3, the expression of the development was limited by the water deficiency in the soil. In an “erva-mate” seedling production system, the irrigation process should be controlled.

**Key words:** *Ilex paraguariensis*, water stress, physiological response, development.

Com a expansão da fronteira agrícola na década de setenta na Região Sul do Brasil, principalmente devido a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.), houve necessidade da derrubada das florestas e, por consequência, da erradicação dos ervais nativos nessas áreas. Mesmo assim, os ervais nativos são os responsáveis pela maior parte da produção de erva-mate, principalmente no Estado do Paraná. Apesar de o consumo de erva-mate estar crescendo, o equilíbrio entre a produção e o consumo se deve,

basicamente, ao aumento do número de novos ervais que foram e que estão sendo implantados, principalmente nos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (Tormen, 1995). A cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) está retomando sua posição no cenário econômico nacional e internacional (Redig, 1985; Tormen, 1995; Croce *et al.*, 1996).

O incremento à produção e ao consumo da erva-mate (Mattos, 1985) apresenta importância nos

aspectos sociais, econômicos e ecológicos. Além de fixar o homem no campo, propicia a sua ocupação (colheita da erva-mate) na entressafra das culturas anuais, aumentando a sua fonte de renda e proporcionando o restabelecimento da espécie no ecossistema (Redig, 1985; Croce *et al.*, 1996). A distribuição de ocorrência natural da erva-mate se situa entre as latitudes 21°S e 30°S e longitudes 48°30'W e 56°10'W, compreendendo altitudes que variam de 500 a 1500 metros, caracterizando-se por clima temperado, com ausência de estação seca, abrangendo os territórios do Brasil, Argentina e Paraguai. Oitenta e três por cento da área total de ocorrência pertencem ao território brasileiro (Oliveira e Rota, 1985).

A maior parte da bibliografia existente sobre a erva-mate aborda aspectos históricos, da exploração, da industrialização e da comercialização (Clos, 1941; Linhares, 1969; Mazuchowski, 1991 e Costa, 1995). Pouco se tem estudado com relação à fisiologia desta espécie, particularmente quanto às exigências de disponibilidade de água no solo para a plântula em fase de crescimento/desenvolvimento. Com a perspectiva de restabelecer os ervais, ou a expansão dos mesmos através dos incentivos fiscais, econômicos e ecológicos, torna-se necessário aprofundar os conhecimentos sobre a fisiologia das plântulas, assim como aprimorar a tecnologia de cultivo (Croce *et al.*, 1996), para que se possa oferecer ao produtor mudas sadias, resistentes e com perspectiva de boa produtividade.

Em geral, a água no solo está disponível para as plantas entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). Entretanto, o crescimento/desenvolvimento das plantas é controlado diretamente pelo nível do déficit hídrico da planta e indiretamente pelo nível do déficit hídrico do solo (Kramer, 1969). O déficit hídrico nas plantas é causado pela excessiva perda de água (transpiração), pela absorção insuficiente ou pela combinação de ambos os processos (Jung e Scott, 1980; Kozłowski *et al.*, 1991). O déficit hídrico ocorre durante o dia devido ao fato de a taxa de transpiração ser maior do que a taxa de absorção. À noite, se houver disponibilidade de água no solo, o equilíbrio hídrico da planta é restabelecido, caso contrário, a cada dia que passa, aumenta o déficit hídrico da planta (Turner, 1986; Kozłowski *et al.*, 1991). O déficit hídrico na planta afeta praticamente todos os aspectos do crescimento/desenvolvimento (Castell e Terradas, 1994), não só modificando a anatomia e a morfologia (Kubiske e Abrams, 1992; Socias e Medrano, 1994), como também interferindo em muitas reações metabólicas (Hanson

e Hitz, 1982; Epron e Dreyer, 1993; Spollen e Nelson, 1994). A falta de água reduz a pressão de turgor, a área celular e conseqüentemente a área foliar (McGree e Davis, 1974; Thakur e Thakur, 1993; Ismail *et al.*, 1994). Outros parâmetros do crescimento/desenvolvimento, como o número de folhas (Socias e Medrano, 1994; Busso e Richards, 1995) e altura do caule (Richards e Thurling, 1978; Hostalácio e Válio, 1984) também são afetados pelo déficit hídrico. Por outro lado, o excesso de umidade no solo também é prejudicial devido à redução da disponibilidade de oxigênio para as raízes das plantas (Armstrong 1979; Ponnampuruma, 1984; Drew, 1990; Musgrave, 1994).

O objetivo do presente trabalho foi estudar a influência de diferentes valores de disponibilidade de água no solo sobre o desenvolvimento de mudas de erva-mate cultivadas em viveiro.

## Material e métodos

**Substrato.** O substrato utilizado para o cultivo das mudas foi coletado numa área onde havia uma horta didática. Após secagem e homogeneização, retirou-se uma amostra para a caracterização química e física de acordo com metodologia descrita em Embrapa (1979). O resultado da análise química foi o seguinte: pH H<sub>2</sub>O = 6,4; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 2,36; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> = 6,23; K<sup>+</sup> = 0,32 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); P = 100 mg dm<sup>-3</sup>; C = 2,5 g dm<sup>-3</sup>. O valor máximo de retenção de água do substrato foi estabelecido a 0,3 atmosfera, resultando num valor de 21% (g de água por 100 g de solo).

**Montagem do experimento.** O experimento foi conduzido sob condições controladas de iluminamento e de umidade no substrato. A redução de 40% do iluminamento foi possível através da instalação de sombrite sob a cobertura plástica, conforme recomendação de Kaspary (1985). As mudas de erva-mate, com 4 cm de altura média e 3 a 5 folhas, foram transferidas para os vasos plásticos perfurados com capacidade para 1,5 kg de substrato. Os vasos com uma muda cada, foram irrigados periodicamente, durante 30 dias, de modo a manter o substrato com umidade suficiente próximo a CC para propiciar que as mudas vingassem.

Os tratamentos corresponderam a três níveis de disponibilidade de água para as plantas:  
 Tratamento 1 (T-1): teor de água do substrato a 0,3 atm, de tensão;  
 Tratamento 2 (T-2): 80% da quantidade de água usada em T-1;  
 Tratamento 3 (T-3): 65% da quantidade de água usada em T-1.

O delineamento experimental foi completamente casualizado, com 25 repetições, totalizando 75 unidades experimentais.

O período experimental teve duração de 45 semanas. O sistema de controle de umidade do substrato foi desenvolvido em duas etapas: Na primeira, durante 20 semanas (período da terceira semana de janeiro a primeira semana de junho) efetuou-se a medida da perda de água (evapotranspiração) da unidade experimental através do método gravimétrico. Semanalmente cada vaso foi colocado sobre uma balança. Acrescentaram-se quantidades de água suficiente para restabelecer o peso nos tratamentos T-1, T-2 e T-3. Durante esta fase experimental, não foi considerado o incremento da matéria fresca das mudas. Na segunda etapa, durante 25 semanas (período da segunda semana de junho a última semana de novembro) as quantidades de água acrescentadas corresponderam à média da evaporação do substrato mais a média da transpiração das plantas.

**Variáveis analisadas.** A partir da 21ª semana do início do experimento, adicionaram-se, em cada tratamento, 4 vasos contendo apenas substrato. Em cada tratamento, os vasos foram pesados e irrigados, semanalmente, com quantidades de água suficiente para elevar os teores de umidades para 100, 80 e 65% da CC, respectivamente T-1, T-2 e T-3. A diferença média de massa ocorrida na semana nos 4 vasos foi considerada como sendo a evaporação média do substrato.

A cada semana e para cada tratamento, a partir da 21ª semana do início do experimento, foram sorteados 4 vasos para a medida da transpiração das plantas. Os vasos selecionados foram vedados na superfície com dois semicírculos de isopor de 1,5 cm de espessura, justapostos no centro do caule, tendo como suporte a borda superior do vaso. Para complementar o controle de perda de água por evaporação foi utilizada massa de moldar. A diferença na média de peso ocorrida no intervalo da semana foi considerada como sendo a transpiração

Um termômetro foi instalado na área experimental onde se registraram as temperaturas máximas e mínimas ocorridas no intervalo da semana.

Foram efetuadas 8 medidas da altura do caule, com intervalos de aproximadamente 40 dias entre cada medida. A altura do caule foi medida com régua milimetrada. Uma lâmina de vidro foi colocada sobre o bordo superior do vaso formando uma superfície perpendicular com o eixo do caule. A

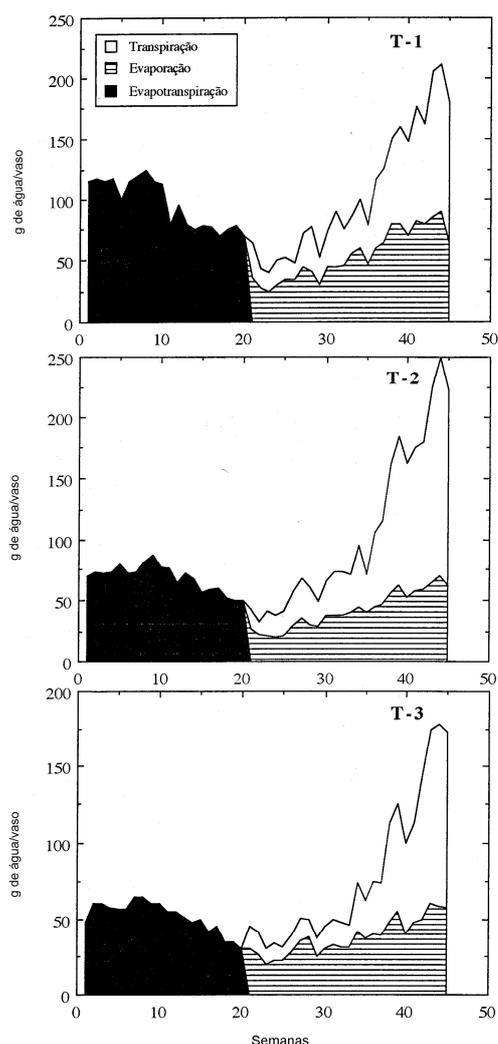
altura foi medida da superfície da lâmina até a base do último primórdio foliar.

Fez-se a contagem do número de folhas de todas as plantas em cada período de contagem, que foram de 8 a intervalos de aproximadamente 40 dias. Considerou-se como unidade de folha as que apresentaram área foliar superior a 0,015 dm<sup>2</sup>.

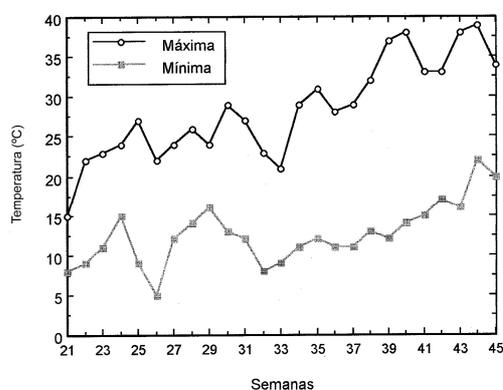
Para a determinação da área foliar foi utilizado um método de comparação de área com moldes (fotocópias) de folhas de erva-mate de área conhecida. As áreas de 29 tamanhos diferentes e crescentes (de 0,015 a 0,53 dm<sup>2</sup>) das folhas foram determinadas anteriormente por Kaspary (1985) utilizando-se um medidor de área foliar (LI-COR, modelo LI-3000). No presente trabalho, as folhas foram comparadas com os moldes fotocopiados e tomada a área de maior semelhança. Não ocorreu área foliar, por unidade de folha, maior do que o limite superior previamente determinado que foi de 0,53 dm<sup>2</sup>. A área total de cada planta correspondeu ao somatório de todas as folhas. O número de determinações e os intervalos foram os mesmos das avaliações anteriores.

## Resultados e discussão

**Irrigação.** As quantidades de água acrescentadas apresentaram uma tendência de redução dos valores da 1ª para a 20ª semana nos três tratamentos (Figura 1). Mesmo que não tenha sido efetuado o acompanhamento dos valores da temperatura, da evaporação do substrato e da transpiração das plantas, essa tendência de redução poderia ser justificada pelo fato de que o período considerado abrangeu o final do verão e toda a estação de outono. Estes parâmetros sofreram redução em função da diminuição da temperatura. Soma-se ao fato de que neste período não foi considerado o incremento da matéria fresca das plantas. Na segunda etapa, que correspondeu ao período da 21ª à 45ª semana, abrangendo as estações de inverno e primavera, as quantidades de água acrescentadas aos vasos apresentaram uma tendência crescente. Nesta etapa foram registrados os valores de evaporação do substrato e da transpiração das plantas (Figura 1), bem como as temperaturas máximas e mínimas ocorridas na semana (Figura 2). O aumento da temperatura, correspondente às estações do inverno e da primavera, resultou no aumento dos valores da evaporação, mas principalmente da transpiração (Figura 1). O aumento da transpiração, além do fator temperatura, também deveu-se ao aumento do número de folhas (Tabela 2) e da área foliar (Tabela 3).



**Figura 1.** Quantidades de água acrescentadas em cada vaso, semanalmente, durante o período de crescimento/ desenvolvimento das mudas de erva-mate. 1ª etapa da irrigação 1 a 20 semanas; 2ª etapa da irrigação 21 a 45 semanas



**Figura 2.** Temperaturas máximas e mínimas semanais ocorridas durante o período experimental de cultivo das mudas de erva-mate

**Altura do caule.** Na primeira medida, início do experimento, não foi constatada diferença significativa dos valores da altura do caule entre os tratamentos (Tabela 1). Nas medidas subsequentes, os valores foram numericamente crescentes. Os menores acréscimos foram constatados no período compreendido entre 84 a 182 dias do início do experimento, principalmente nos tratamentos T-1 e T-3, coincidindo com o final do outono e o inverno. As baixas temperaturas em combinação com o excesso ou insuficiência de água poderiam ter afetado, mais intensamente, a atividade do tecido meristemático. Os valores da altura do caule do T-2 foram superiores e diferiram significativamente do T-3 a partir de 140 dias do início do experimento. Em relação a T-1 as diferenças só foram verificadas a partir de 273 dias. No entanto, a partir desta data, T-1 e T-3 não diferiram significativamente entre si.

**Tabela 1.** Altura média (cm) do caule de mudas de erva-mate cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo durante 45 semanas (315 dias)

Tratamentos	Dias do início do experimento							
	0	42	84	140	182	224	273	315
T-1	5,4a*	8,6a	13,2a	14,5a	14,6a	16,2a	20,7 b	37,6 b
T-2	5,1a	7,1 b	11,2ab	13,4a	15,0a	18,6a	27,5a	56,4a
T-3	5,3a	6,1 b	8,8 b	9,7 b	9,8 b	12,0 b	17,6 b	36,0 b

\*Para cada período de medida (vertical) médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

**Tabela 2.** Número médio de folhas de mudas de erva-mate cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo durante 45 semanas (315 dias)

Tratamentos	Dias do início do experimento							
	0	42	84	140	182	224	273	315
T-1	7,5a*	12,2a	13,0a	13,5a	15,4ab	19,9ab	24,0a	22,5 b
T-2	7,4a	9,5 b	12,3a	14,2a	17,9a	22,1a	26,5a	28,5a
T-3	7,5a	9,3 b	11,2a	10,0a	11,4 b	14,9 b	20,0a	19,9 b

\*Para cada período de contagem (vertical) médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

**Tabela 3.** Valores médios de área foliar ( $\text{dm}^2$ ) de mudas de erva-mate cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo durante 45 semanas (315 dias)

Tratamentos	Dias do início do experimento							
	0	42	84	140	182	224	273	315
T-1	0,36a*	0,82a	1,10a	1,17a	1,48a	2,01 b	3,25 b	4,01 b
T-2	0,36a	0,58 b	1,00a	1,18a	1,88a	2,72a	4,37a	5,82a
T-3	0,34a	0,44 b	0,71a	0,65 b	0,80 b	1,24 c	2,15 c	3,45 b

\*Para cada período de determinação (vertical) médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

O menor incremento nos valores da altura do caule das mudas no tratamento T-1 em relação a T-2, parece estar relacionado com a maior quantidade de água acrescentada no vaso semanalmente. Esta elevação de umidade parece ter sido excessiva, criando condições no solo que se tornaram adversas

para a planta por um período mais prolongado ao longo da semana. Desta forma, as plantas parecem ter sido submetidas à deficiência hídrica, mesmo havendo umidade no solo, provavelmente devido à redução da disponibilidade de oxigênio para as raízes (Drew, 1990; Musgrave, 1994). Hostalácio e Válio (1984), cultivando *Phaseolus vulgaris* L., cultivar goiano precoce, obtiveram melhores resultados da altura do caule no tratamento irrigado duas vezes por semana em relação aos tratamentos irrigados diariamente e uma vez por semana.

No T-3, o menor incremento dos valores da altura do caule, em relação ao T-2, parece estar relacionado, por sua vez, a uma provável deficiência hídrica do solo mais intensa entre um turno de irrigação e outro. O estabelecimento de deficiência hídrica na planta, com redução do conteúdo relativo de água, induziu a menores taxas de crescimento na altura do caule em relação às plantas com adequado suprimento hídrico, conforme resultados obtidos por Read e Bartlett (1972) com *Glycine max*, Richards e Thurling (1978) com *Brassica* sp., Hostalácio e Válio (1984) com *Phaseolus vulgaris* L., entre outros.

**Número de folhas.** Em 4 períodos de contagem do número de folhas, do total de 8, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2). O tratamentos T-1 e T-3 diferiram significativamente entre si somente numa contagem, aos 42 dias do início do experimento. Desse modo, os resultados demonstraram que, para a erva-mate, nas condições de estudo do presente trabalho, o parâmetro número de folha (Tabela 2) seria menos afetado pelos diferentes níveis de disponibilidade de água no solo em relação à altura do caule (Tabela 1). Read e Bartlett (1972), cultivando *Glycine max*, não constataram diferença significativa no número de folhas em 5 níveis diferentes de umidade do solo durante o período experimental. Rawson *et al.* (1980), em condições de cultivo a campo, obtiveram resultados semelhantes em *Helianthus annuus* L. No entanto, o T-2 foi o único tratamento em que o saldo do número de folhas foi crescente em todos os períodos de contagem. Nos tratamentos T-1 e T-3 foram constatadas reduções do número de folhas. Durante o período experimental houve queda (abscisão) de folhas nos três tratamentos, mas de forma mais acentuada nos tratamentos T-1 e T-3.

**Área foliar.** Em geral, as plantas submetidas ao déficit hídrico apresentam redução da pressão de turgor, do alongamento celular, da área celular e, conseqüentemente, da área foliar (Slatyer, 1967).

Karamanos (1978) obteve um coeficiente de correlação linear altamente significativo entre aumentos da área foliar de *Vicia faba* e valores menos negativos do potencial hídrico das folhas. Os resultados do presente estudo demonstraram que os níveis de disponibilidade hídrica do solo influenciaram os valores de área foliar das mudas de erva-mate. Apesar de no início do experimento não ter havido diferença entre os tratamentos, os incrementos numéricos dos valores de área foliar foram maiores no tratamento T-2 em relação a T-1 e T-3. A partir dos 140 dias do início do experimento, os valores diferiram significativamente de T-3 e de T-1 a partir dos 224 dias. Das oito medidas de área foliar, em apenas 3 (início, 84 e 315 dias) não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos T-1 e T-3. Santa Cruz e Cock (1984) observaram em plantas de *Manihot esculenta* Crantz que a redução da área foliar foi relacionada com redução do potencial hídrico das folhas. Menores valores de área foliar devido ao déficit hídrico, em relação ao controle, foram também constatados por Thakur e Thakur (1993) em *Lycopersicon esculentum*, por Socias e Medrano (1994) em *Trifolium subterraneum* e por Ismail *et al.* (1994) em *Vigna unguiculata*.

Nas condições do presente trabalho, o tratamento T-2 foi o que proporcionou melhores condições de disponibilidade hídrica do solo para as plantas e, por conseqüência, estas responderam com uma melhor performance dos parâmetros de desenvolvimento (altura do caule, número de folhas e área foliar) em relação aos tratamentos T-1 e T-3. Em T-1, parece ter havido excesso de umidade, limitando a disponibilidade de O<sub>2</sub> para as raízes e, por conseqüência, as plantas foram submetidas a um estresse hídrico, mesmo havendo umidade no solo. No tratamento T-3, a expressão do crescimento foi limitada pelo excesso de deficiência hídrica no solo e na planta. Para efeito de produção de mudas em viveiro, com redução da luz solar (Kaspary, 1985), as regas devem ser controladas, procurando-se manter a umidade do substrato em torno de 80% da disponibilidade de água em relação a T-1. Ao que tudo indica, esta condição de umidade proporcionaria melhores qualidades fisiológicas das mudas por ocasião do transplante para o local definitivo.

#### Referências bibliográficas

- Armstrong, W. Aeration in higher plants. *Adv. Bot. Res.*, 7:226-332, 1979.
- Busso, C.A.; Richards, J.H. Drought and clipping effects on tiller demography and growth of two tussock grasses in Utah. *J. Arid Envir.*, 29:239-251, 1995.

- Castell, C.; Terradas, J. Effects of water and nutrient availability on water relations, gas exchange and growth rate of mature plants and sprouts of *Arbutus unedo*. *L. Ann. Bot.*, 73:595-602, 1994.
- Clos, E.C. Bibliografia anotada sobre yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Buenos Aires: Imprensa y Casa Editora Coni, 1941.
- Costa, S.G. A erva-mate. Curitiba: Farol do Saber, 1995.
- Croce, D.M. da; Floss, P.A.; Nadal, R. de; Bohner, J.A.M. Erva-mate em alta densidade. *Agropec. Catar.*, 9(3):19-22, 1996.
- Drew, M.C. Sensing soil oxygen. *Plant Cell and Envir.*, 13:681-693, 1990.
- Embrapa. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, 1979.
- Epron, D.; Dreyer, E. Long-term effects of drought on photosynthesis of adult oak trees (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) in a natural stand. *New Phytol.*, 125:381-389, 1993.
- Hanson, A.D.; Hitz, W.D. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 33:163-203, 1982.
- Hostalacio, S.; Válio, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão, cv. "goiano precoce", em diferentes regimes de irrigação. *Pesq. Agropec. Brasil.*, 19(2):211-218, 1984.
- Ismail, A.M., Hall, A.E.; Bray, E.A. Drought and pot size effects on transpiration efficiency and carbon isotope discrimination of cowpea accessions and hybrids. *Austral. J. Plant Physiol.*, 21:23-35, 1994.
- Jung, P.K.; Scott, H.D. Leaf water potential stomatal resistance and temperature relations in field-growth soybeans. *Agron. J.*, 72(5):986-990, 1980.
- Karamanos, A.J. Water stress and leaf growth of field beans (*Vicia faba* L.) in the field: leaf number and total leaf area. *Ann. Bot.*, 42:1393-1402, 1978.
- Kaspary, R. Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento e trocas gasosas de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil. - Aquifoliaceae). Porto Alegre, 1985. (Master's Thesis in Biological Sciences) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Kozłowski, T.T.; Kramer, P.J.; Pallardy, S.G. The physiological ecology of wood plants. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.
- Kramer, P.J. Plant and soil water relationships: a modern synthesis. New York: McGraw-Hill, 1969. 482p.
- Kubiske, M.E.; Abrams, M.D. Photosynthesis, water relations, and leaf morphology of xeric versus mesic *Quercus rubra* ecotypes in central Pennsylvania in relation to moisture stress. *Can. J. For. Res.*, 22:1402-1407, 1992.
- Linhares, T. História econômica do mate. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1969. 522p.
- Mattos, N.F. Revisão taxonômica da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 10, 1985, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Embrapa, 1985. p.37-46.
- Mazuchowski, J.Z. Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Curitiba: Emater, 1991.
- McGree, K.J.; Davis, S.D. Effects of water stress and temperature on leaf size and on size and number of epidermal cells in grain sorghum. *Crop Sci.*, 14:751-755, 1974.
- Musgrave, M.E. Waterlogging effects on yield and photosynthesis in eight wheat cultivars. *Crop Sci.*, 34:1314-1318, 1994.
- Oliveira, Y.M.M.; Rotta, E. Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 10, 1985, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Embrapa, 1985. p.17-36.
- Ponnamperuna, F.H. Effects of flooding on soil. In: Kozłowski, T.T.(Ed.): Flooding and plant growth. San Diego: Academic Press, 1984. p.9-45.
- Rawson, H.M.; Constable, G.A.; Howe, G.N. Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments: II. leaf growth. *Austral. J. Plant Physiol.*, 7:575-586, 1980.
- Read, D.J.; Bartlett, E.M. The physiology of drought resistance in the soybean (*Glycine max*): I. the relationship between drought resistance and growth. *J. Appl. Ecol.*, 9:487-499, 1972.
- Redig, A.P.L. A importância econômica atual da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: SILVICULTURA DA ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 10, Curitiba, 1985. *Anais...* Curitiba: Embrapa, 1985. p.4-9.
- Richards, R.A.; Thurling, N. Variation between and within species of rapeseed (*Brassica campestris* and *Brassica napus*) in response to drought stress: I. Sensitivity at different stages of development. *Austral. J. Agricul. Res.*, 29:469-477, 1978.
- Santa Cruz, S.D.; Cock, J.H. Estudios fisiológicos de la hoja de yuca, *Manihot esculenta*, bajo condiciones de sequia. *Acta Agron.*, 34(1):26-31, 1984.
- Slatyer, R.O. Plant-water relationships. London: Academic Press, 1967. 366p.
- Socias, F.X.; Medrano, H. Drought acclimation in field growing subterranean clover plants. *Agronomie*, 2:141-148, 1994.
- Spollen, W.G.; Nelson, C.J. Response of fructan to water deficit in growing leaves of tall fescue. *Plant Physiol.*, 106:329-336, 1994.
- Thakur, P.S.; Thakur, A. Influence of triacontanol and mixtalol during plant moisture stress in *Lycopersicon esculentum* cultivars. *Plant Physiol. Biochem.*, 31(3):433-439, 1993.
- Tormen, M.J. Economia erva-teira brasileira. In: Wing, H.; Ferreira, A.G.; Mariath, J.E.A.; Tarasconi, L.C. (Eds.): Erva-mate: biologia e cultura no cone sul. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p.27-40.
- Turner, N.C. Adaptation water deficits: a Changing perspective. *Austral. J. Plant Physiol.*, 13(2):127-141, 1986.

Received on April 14, 1999.

Accepted on July 07, 1999.

