

Comissão 2.2 - Física do solo

TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR DE CLONES DE BATATA EM RESPOSTA À FRAÇÃO DE ÁGUA TRANSPIRÁVEL NO SOLO⁽¹⁾

Isabel Lago⁽²⁾, Nereu Augusto Streck⁽³⁾, Alencar Junior Zanon⁽⁴⁾, Joana Graciela Hanauer⁽⁴⁾, Dilson Antônio Bisognin⁽⁵⁾ & Michel Rocha da Silva⁽⁶⁾

RESUMO

A água é vital para as plantas. Uma redução na disponibilidade de água pode afetar a transpiração e o crescimento foliar das culturas. O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta da transpiração e do crescimento foliar ao conteúdo de água disponível no solo, representado pela fração de água transpirável no solo (FATS), em dois clones de batata (um antigo e um recente) adaptados ao Sul do Brasil. Foram realizados três experimentos em ambiente protegido por abrigo telado em Santa Maria, RS, dois deles na primavera (cultivo de safra), com plantios em 20/08/2008 (E1) e 20/10/2008 (E2), e um experimento no outono (cultivo de safrinha), com plantio em 25/03/2009 (E3), usando-se dois clones de batata: um antigo ('Macaca') e um recente ('SMINIA793101-3'). A água disponível, representada pela FATS, a transpiração e o crescimento foliar foram medidos diariamente durante o período de imposição da deficiência hídrica. A FATS crítica que começa a alterar a transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, foi de 0,39, 0,47 e 0,28 no clone 'Macaca' e de 0,47, 0,49 e 0,33 no clone 'SMINIA793101-3', para os experimentos E1, E2 e E3, respectivamente, enquanto o crescimento foliar começou a ser reduzido, com valor de FATS crítica maior para o clone 'Macaca', indicando que o clone 'SMINIA793101-3' é mais tolerante ao déficit hídrico no solo que o clone 'Macaca'.

Termos de indexação: *Solanum tuberosum* L., déficit hídrico, fechamento estomático, melhoramento genético.

⁽¹⁾ Parte da tese da primeira autora. Recebido para publicação em 27 de janeiro de 2011 e aprovado em 28 de fevereiro de 2012.

⁽²⁾ Estudante de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Av. Roraima 1000, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: isalago08@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciência Rural (CCR), UFSM. E-mail: nstreck2@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Estudante de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Agronomia, UFSM. E-mails: alencarzanon@yahoo.com.br; joana2hanauer@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Professor, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciência Rural (CCR), UFSM. E-mail: dbisognin@gmail.com

⁽⁶⁾ Estudante de Graduação em Agronomia, UFSM. E-mail: michelrs@live.com

SUMMARY: TRANSPIRATION AND LEAF GROWTH OF POTATO CLONES AS A FUNCTION OF FRACTION OF TRANSPIRABLE SOIL WATER

Water is vital for plants. A reduction in water availability may affect crops transpiration and leaf growth. The objective of this study was to determine the response of transpiration and leaf growth to the fraction of transpirable soil water (FTSW) in two potato clones (an old and a new) adapted to Southern Brazil. Three experiments were carried out under a plastic shelter in Santa Maria, RS, Brazil, using two potato clones, an old ('Macaca') and a new ('SMINIA793101-3'). Two of the experiments were in spring (planting on 08/20/2008 (E1) and 10/20/2008 (E2)), and one in fall, (planting on 03/25/2009 (E3)). Soil water, represented by the FTSW, transpiration and leaf growth were measured on a daily basis during the period of soil drying. The threshold FTSW, when transpiration begins to be affected, which is an indicator of stomata closure, was 0.39, 0.47 and 0.28 for the clone 'Macaca' and 0.47, 0.49 and 0.33 for 'SMINIA793101-3' in E1, E2 and E3, respectively, whereas leaf growth was affected at a higher FTSW threshold for 'Macaca'. These results indicate that 'SMINIA793101-3' is more tolerant to soil water deficit than 'Macaca'.

Index terms: Solanum tuberosum L.; water stress; stomata closure; plant breeding.

INTRODUÇÃO

O déficit hídrico no solo é o fator ambiental que mais limita o crescimento e rendimento das culturas na maior parte do mundo (Shao et al., 2008), inclusive na região Sul do Brasil, onde, apesar de a distribuição da precipitação ser relativamente homogênea ao longo do ano, ocorrem períodos de deficiência hídrica durante a estação de crescimento das culturas agrícolas. A quantidade de água no solo pode ser expressa por vários índices, como a quantidade total de água armazenada (QTA), a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), a fração de água disponível (FAD) e a fração de água transpirável no solo (FATS); por meio desses índices, pode-se determinar o déficit hídrico no solo (Martins et al., 2008). Entre esses índices, a FATS parece ser o melhor indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração, pois na definição da FATS assume-se que o conteúdo de água no solo disponível e utilizado na transpiração pela planta varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a condutância estomática e transpiração são máximas, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração da planta é igual a 10 % da transpiração máxima (Sinclair & Ludlow, 1986).

A variação da transpiração com a FATS segue uma resposta que tem duas fases (Sinclair & Ludlow, 1986). Na primeira, a transpiração é máxima em uma faixa de valores de FATS que varia de 1 (solo na capacidade de campo) até começar a ocorrer redução da transpiração das plantas devido ao início do fechamento estomático, que é chamada de FATS crítica. Na segunda fase, a partir da FATS crítica ocorre redução na transpiração proporcional

à redução na FATS até zero. Portanto, a FATS crítica é um caráter de interesse, pois representa a capacidade do genótipo em responder ao déficit hídrico no solo para manter a turgescência foliar. A FATS crítica já foi determinada em várias espécies agrícolas anuais, como feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), feijão-mungo (*Vigna mungo* L. Hepper) e guandu (*Cajanus cajan* L.), soja (*Glycine max* L. Merrill) (Sinclair & Ludlow, 1986), trigo (*Triticum aestivum* L.) (Amir & Sinclair, 1991), milho (*Zea mays* L.) (Muchow & Sinclair, 1991; Ray & Sinclair, 1997), batata (*Solanum tuberosum* L.) (Weisz et al., 1994), ervilha (*Pisum sativum* L.) (Lecoeur & Sinclair, 1996), arroz (*Oryza sativa* L.) (Davatgar et al., 2009), amendoim (*Arachis hypogaea* L.) (Jyostna Devi et al., 2009), em frutíferas como a videira (*Vitis vinifera* L.) (Bindi et al., 2005) e espécies florestais como o eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith) (Martins et al., 2008); os valores variaram entre 0,30 e 0,71 nas espécies agrícolas anuais e na videira e entre 0,70 e 0,90 nas espécies florestais.

A batata é a principal cultura olerícola no Brasil e muito sensível ao déficit hídrico (Heldwein et al., 2009). Um dos motivos para essa elevada sensibilidade é o sistema radicular, menos denso e mais superficial (Weisz et al., 1994; Liu et al., 2006). No estudo de Weisz et al. (1994), a FATS crítica para a transpiração foi de 0,2 e 0,35 para as cultivares BelRus e Katahdin, respectivamente. Esses valores foram similares aos de outras espécies, porém o crescimento foliar começou a diminuir a partir da FATS crítica de 0,6 nas duas cultivares – um valor maior que os valores em outras culturas anuais –, indicando que, para o parâmetro

crescimento foliar, a batata parece responder de forma diferente e é mais sensível ao déficit hídrico que outras culturas. Esses resultados indicam que, além de extrair menos água do solo devido ao seu sistema radicular menos denso e mais superficial, um processo fisiológico adicional relacionado com a expansão foliar contribui para a maior sensibilidade da batata ao déficit hídrico no solo.

Apesar de a resposta da transpiração e do crescimento foliar da batata à FATS já ter sido estudada (Weisz et al., 1994), as cultivares usadas naquele estudo são de regiões temperadas, diferentes das empregadas no Brasil (Bisognin & Streck, 2009). A resposta à FATS pode ser diferente entre grupos de cultivares de batata e, assim, uma fonte de genes para o desenvolvimento de clones mais tolerantes ao déficit hídrico. Não foram encontrados trabalhos sobre a resposta da transpiração e do crescimento foliar à FATS em clones de batata no Brasil, o que motivou a realização deste estudo.

O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta da transpiração e do crescimento foliar ao conteúdo de água no solo, representado pela fração de água transpirável no solo, em dois clones de batata (um antigo e um recente) adaptados ao Sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido por abrigo telado de 150 m², coberto com polietileno de baixa densidade de 200 µm de espessura e com paredes laterais de tela antiafídeos, em Santa Maria, RS (latitude: 29° 43' S, longitude: 53° 43' W e altitude: 95 m). Foram realizados dois experimentos na primavera (cultivo de safra), com plantios em 20/08/2008 (E1) e 20/10/2008 (E2), e um experimento no outono (cultivo de safrinha), com plantio em 25/03/2009 (E3). Dois clones de batata foram usados: 'Macaca' e 'SMINIA793101-3'. 'Macaca' é uma cultivar antiga, tradicionalmente utilizada pelos agricultores do Rio Grande do Sul, ocupando um nicho muito importante no mercado gaúcho (Pereira & Castro, 2006). O clone 'SMINIA793101-3' é um clone avançado, ainda não lançado, do Programa de Genética e Melhoramento de Batata da Universidade Federal de Santa Maria, de alta qualidade de tubérculo, resistência às principais doenças e bastante distinto de 'Macaca' em várias características agrônômicas.

O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos, considerando-se um fatorial 2 x 2: dois clones de batata ('Macaca' e

'SMINIA793101-3') e dois regimes hídricos [SDH = sem déficit hídrico (com irrigação) e CDH = com déficit hídrico (sem irrigação)].

Cada tratamento teve 10 repetições, totalizando 40 unidades experimentais por experimento. Cada repetição consistiu de um vaso plástico de 8 L preenchido com solo (horizonte A) da classe textural franco (43 % de areia, 32 % de silte e 25 % de argila) pertencente à unidade de mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico) (Embrapa, 2006). Os vasos foram dispostos sobre uma bancada de 70 cm de altura, em relação ao piso do abrigo telado. As paredes externas dos vasos foram pintadas de branco para reduzir a absorção de radiação solar, o que aumentaria a temperatura do solo e seria uma fonte de erro experimental. A correção da acidez e nutrientes do solo foi realizada conforme análise de solo (SBSC/CQFS, 2004).

Foi realizado o plantio de um tubérculo por vaso e foi considerada como haste principal (HP) a primeira brotação que emergiu na superfície do solo, sendo as demais retiradas assim que emergiam. A data de 50 % de emergência ocorreu em 31/08/2008 para os dois clones no E1; em 29/10/2008 e 27/10/2008 para os clones 'Macaca' e 'SMINIA793101-3', respectivamente, no E2; e em 02/04/2009 e 03/04/2009 para os clones 'Macaca' e 'SMINIA793101-3', respectivamente, no E3.

Foram avaliados o número de folhas emitidas na haste principal (NF) e a estatura das plantas (E) (comprimento da HP do nível do solo até o ponto de crescimento apical) no primeiro dia de aplicação dos tratamentos (regimes hídricos) e no último dia de cada experimento. Uma folha foi considerada visível quando o folíolo apical media pelo menos 1 cm de comprimento. Nos experimentos E2 e E3 também foi determinada a área foliar (AF) total de cada planta, diariamente, a partir do início da aplicação da deficiência hídrica até o final de cada experimento. A AF de cada folha foi calculada pelas seguintes equações:

$$AF = 0,5334 \times (C \times L),$$

para o clone 'Macaca' (1)

$$AF = 0,6034 \times (C \times L),$$

para o clone 'SMINIA793101-3' (2)

em que AF é a área foliar (cm²); C, o comprimento máximo da folha (cm) partindo da inserção dos folíolos da base da folha até o ápice do folíolo apical; e L, a largura máxima da folha (cm). Os coeficientes 0,5334 e 0,6034 das equações 1 e 2 foram estimados por regressão linear entre o CxL e a AF (estimada pelo método das fotocópias ou dos contornos foliares) de 75 folhas do clone 'Macaca' e 55 folhas do clone 'SMINIA793101-3', com coeficiente de

determinação (r^2) de 0,982 e 0,991 para as equações 1 e 2, respectivamente. O método das fotocópias ou dos contornos foliares é um método clássico que consiste em medir individualmente o comprimento, a maior largura e o peso de cada folha, e a relação entre área e peso de folhas de papel é usada para estimar a área das folhas de batata.

A área foliar total diária de cada planta (AFT) foi calculada pelo somatório da AF de todas as folhas individuais da planta. Com esses dados de AFT, foi calculado o crescimento foliar relativo (CFR) diário para cada clone, pela equação:

$$CFR = \frac{AFTCDH_j - AFTCDH_{j-1}}{[\sum (AFTSDH_j - AFTSDH_{j-1})]/n} \quad (3)$$

em que AFTCDH é a área foliar total diária de cada planta no regime hídrico CDH ($\text{cm}^2/\text{planta}$); AFTSDH, a área foliar total diária de cada planta no regime hídrico SDH ($\text{cm}^2/\text{planta}$); 'j' e 'j-1' referem-se ao dia e ao dia anterior, respectivamente; e 'n' representa o número de repetições (plantas) no regime hídrico SDH (Lecœur & Sinclair, 1996).

Foi determinado também o coeficiente de transpiração (CT), que é a quantidade de água, em litros, necessária para a produção de 1 kg de biomassa ($\text{L H}_2\text{O kg}^{-1}$ matéria seca) (Silva et al., 2004). A fim de se proceder à determinação do CT, foram selecionadas, para cada experimento, três plantas de cada clone, antes da aplicação da deficiência hídrica, para determinação da biomassa seca total de cada planta em estufa a 65 °C. Ao finalizar o experimento, foi determinada a matéria seca total de cada planta em todas as repetições. O CT para cada repetição (planta), em cada regime hídrico, foi determinado pela equação (Silva et al., 2004):

$$CT = \frac{TT}{BF - BI} \quad (4)$$

em que TT é a transpiração total ($\text{L H}_2\text{O}/\text{planta}$); BF, a matéria seca final (kg/planta); e BI, a matéria seca inicial (kg/planta).

Durante cada experimento, foram medidas as temperaturas mínima e máxima diárias do ar no interior do abrigo telado e calculada a densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente (RSi) no interior do abrigo telado, a partir do brilho solar diário medido na estação meteorológica pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia e localizada a aproximadamente 300 m dos experimentos, considerando-se uma transmitância da cobertura plástica de 80 % (Buriol et al., 1995).

O déficit hídrico foi aplicado quando as plantas estavam em média com 15 folhas acumuladas na HP no experimento E1 e 14 folhas nos experimentos E2 e

E3. Das 20 repetições de cada clone, em 10 delas não foi aplicado o déficit hídrico (SDH), e nas outras 10 foi aplicado o déficit hídrico (CDH) conforme método proposto por Sinclair & Ludlow (1986). Ao iniciar o experimento, todos os vasos foram saturados com água e deixados drenar por 20 h, a fim de atingirem a capacidade de campo. Depois de saturados, todos os vasos foram cobertos com filme plástico branco para evitar a perda de água pela evaporação do solo e garantir que a água dele perdida fosse somente aquela da transpiração das plantas. Depois de 20 h de drenagem, foi determinada a massa inicial de cada vaso, e a partir de então foi aplicado o déficit hídrico nos vasos CDH nos dois clones, os quais não foram mais irrigados até o final do experimento.

Diariamente, no final da tarde foi determinada a massa de todos os vasos, em uma balança eletrônica com capacidade de 50 kg e precisão de 5 g. Logo após a pesagem, cada vaso SDH foi irrigado com a quantidade de água perdida pela transpiração da planta, determinada pela diferença entre a massa do vaso no dia e a massa inicial (massa do vaso no dia em que foi iniciado o ciclo de deficiência hídrica). Os dados foram analisados com base na transpiração relativa (TR) *versus* a fração de água transpirável no solo (FATS) para cada vaso. A TR foi calculada pela equação (Sinclair & Ludlow, 1986):

$$TR = \frac{MCDH_j - MCDH_{j-1}}{[\sum (MSDH_j - MSDH_{inicial})]/n} \quad (5)$$

em que MCDH é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico CDH (g/vaso); MSDH, a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico SDH (g/vaso); 'j' refere-se ao dia; 'inicial' indica que é a MSDH no dia de início da aplicação do déficit hídrico (início do experimento); e 'n' representa o número de repetições (plantas) no regime hídrico SDH.

A fração de água transpirável no solo (FATS) foi calculada pela equação (Sinclair & Ludlow, 1986):

$$FATS = \frac{MCDH_j - MCDH_{final}}{MCDH_{inicial} - MCDH_{final}} \quad (6)$$

em que MCDH é a massa de cada vaso (repetição) no regime hídrico CDH (g/vaso); 'j' refere-se ao dia; 'inicial' indica que é a MCDH no dia de início da aplicação do déficit hídrico (início do experimento); e 'final' indica que é a MCDH no dia do término do experimento.

O experimento foi encerrado quando todas as plantas CDH atingiram $TR < 10\%$ da transpiração média das plantas SDH. A massa final foi considerada a massa do vaso quando a TR atingia menos de 10 %. O limite de 10 % é considerado no método da FATS, assumindo-se que abaixo dessa taxa de transpiração os estômatos estão fechados

e a perda de água deve-se apenas à condutância epidérmica, que é o estágio 3 da transpiração (Sinclair & Ludlow, 1986). No experimento E1, a aplicação do déficit hídrico foi de 23/09/2008 até 04/10/2008 para o clone 'Macaca', e até 07/10/2008 para o clone 'SMINIA793101-3'. No experimento E2, foi de 10/11/2008 até 19/11/2008 para os dois clones, e o experimento E3 iniciou-se em 18/04/2009 e foi até 30/04/2009 para os dois clones. O número de dias de déficit hídrico foi contabilizado como o número de dias entre o início e o fim de cada experimento.

As variáveis TR e CFR foram submetidas a duas normalizações (Sinclair & Ludlow, 1986). A primeira foi realizada por meio das equações 3 e 5, resultando em valores relativos entre 0 e 1, e posteriormente por uma segunda normalização, para reduzir as variações entre plantas causadas por diferenças no tamanho delas e nas condições microambientais. Para realização da segunda normalização, usou-se um valor de FATS acima do qual a TR e o CFR foram constantes em todas as plantas - nesse caso, foi uma FATS de 0,55. Posteriormente, calculou-se, para cada planta, a média dos valores de TR e CFR com FATS igual ou maior que 0,55, e todas as estimativas iniciais de TR e CFR foram divididas por essas médias.

Os dados normalizados de TR e CFR x FATS de cada planta foram ajustados a uma equação logística do tipo $Y = 1 / \{1 + \exp[-a(x - b)]\}$, em que Y é a variável dependente (TR e CFR); X, a FATS; e "a" e "b", coeficientes empíricos (Sinclair & Ludlow, 1986; Lecoeur & Sinclair, 1996), os quais foram estimados por análise de regressão não linear em SAS. Os valores de FATS crítica para TR e para CFR foram estimados pela equação logística como sendo o valor da FATS quando a TR e o CFR foram de 0,95. Usou-se o valor de 0,95 por ele ser tradicionalmente adotado como nível de acerto (100-5 % de erro = 95 % de acerto) e também porque é um nível similar ao usado em Weisz et al. (1994), permitindo assim a direta comparação com os resultados daquele estudo.

Todas as variáveis foram analisadas levando-se em conta um experimento fatorial 2 x 2, considerando cada planta uma repetição. Para a variável FATS crítica, consideraram-se os fatores clones (dois níveis) e experimentos (três níveis), pois o fator regime hídrico não existe nessa variável. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições meteorológicas durante cada experimento foram distintas. As temperaturas mínimas absolutas durante os experimentos E1, E2

e E3 foram de 9,1, 12,2 e 10,0 °C, e as temperaturas máximas absolutas, de 31,8, 37,0 e 34,5 °C, respectivamente. Os valores médios de densidade de fluxo de radiação solar global diária incidente também variaram entre os experimentos, sendo de 13,4, 16,1 e 8,6 (MJ m⁻² dia⁻¹) nos experimentos E1, E2 e E3, respectivamente. Essas variações nas condições meteorológicas durante o experimento propiciaram diferentes condições de demanda atmosférica, o que resultou em durações distintas no período de déficit hídrico, sendo de 12 e 14 dias para os clones 'Macaca' (MA) e 'SMINIA793101-3' (SM), respectivamente, no experimento E1 e de 9 e 12 dias para ambos os clones nos experimentos E2 e E3, respectivamente.

A análise estatística indicou efeito não significativo da interação clones x regimes hídricos para as variáveis número médio inicial e final de folhas, estatura média inicial e final e área foliar média inicial e final (Quadro 1), indicando que a resposta dos clones foi a mesma nos dois regimes hídricos em cada experimento, com exceção da variável número médio de folhas final no E2, em que a interação foi significativa; assim, a análise estatística foi desdobrada dentro dos fatores, indicando resposta diferente dos clones nos dois regimes para esta variável. O número médio de folhas inicial diferiu estatisticamente entre os clones no E1 e no E2 (Quadro 1): o clone MA apresentou 0,9 folha a mais que o clone SM no E1 e 1,6 folha a menos no E2. Com relação à estatura média inicial, o clone MA apresentou estatura menor que a do SM nos dois experimentos (Quadro 1), o que é característico desse clone, que também apresenta vigor menor que o do clone SM.

O número de folhas final não diferiu entre os regimes hídricos (Quadro 1) devido ao fato de a maioria das plantas ter atingido o número final de folhas e a floração; entre os clones, a diferença foi de 0,9 folha a mais no clone SM, no E2, e 1,3 folha para mais no clone MA, no E3. A estatura final de plantas diferiu entre os regimes hídricos no E2, com as plantas CDH apresentando menor estatura, e também diferiu entre os clones, com o clone MA apresentando menor estatura nos dois experimentos (E1 e E2). A área foliar final diferiu entre os regimes hídricos nos três experimentos, e entre os clones somente no E2, com o clone SM apresentando maior área foliar final.

Para as variáveis transpiração total média, consumo médio diário de água por planta e coeficiente de transpiração (CT), não houve efeito significativo da interação clones x regimes hídricos, exceto para a variável transpiração total média no E1, indicando que a resposta dos clones foi a mesma nos dois regimes hídricos em cada experimento (Quadro 2). Não houve diferença entre os clones nos

Quadro 1. Número médio de folhas inicial e final, estatura média inicial e final, área foliar média inicial e final dos clones de batata ‘Macaca’ (MA) e ‘SMINIA793101-3’ (SM) submetidos aos regimes sem déficit (SDH) e com déficit hídrico (CDH), cultivados em ambiente protegido por abrigo telado em três experimentos (E1, E2 e E3), com datas de aplicação do déficit hídrico em 23/09/2008, 10/11/2008 e 18/04/2009, respectivamente. Santa Maria, RS, 2008-2009

Clone	E1			E2			E3		
	Regime Hídrico		Média	Regime Hídrico		Média	Regime Hídrico		Média
	SDH	CDH		SDH	CDH		SDH	CDH	
Número médio de folhas inicial									
MA	15,3	15,0	15,2 A ⁽²⁾	13,5	13,4	13,5 B	14,5	14,4	14,5 A
SM	14,3	14,4	14,3 B	14,5	15,6	15,1 A	13,9	14,2	14,1 A
Média	14,8 a	14,7 a ⁽¹⁾		14,0 a	14,5 a		14,2 a	14,3 a	
Número médio de folhas final									
MA	17,0	16,7	16,9 A	18,8 aA	15,9 bB	17,4	19,5	19,6	19,6 A
SM	17,0	16,3	16,7 A	18,3 aA	18,2 aA	18,3	18,0	18,5	18,3 B
Média	17,0 a	16,5 a		18,6	17,1		18,9 a	19,1 a	
Estatura média inicial (cm)									
MA	12,2	11,9	12,1 B	9,2	9,1	9,1 B	---	---	---
SM	16,6	15,2	15,9 A	12,4	13,7	13,1 A	---	---	---
Média	14,2 a	13,6 a		10,8 a	11,4 a		---	---	
Estatura média final (cm)									
MA	14,0	12,5	13,4 B	15,7	11,4	13,5 B	---	---	---
SM	20,9	17,3	19,2 A	23,7	18,4	21,0 A	---	---	---
Média	17,2 a	14,9 a		19,7 a	14,9 b		---	---	
Área foliar média inicial (cm ²)									
MA	779	750	766 A	447	454	450 B	360	346	353 A
SM	833	750	794 A	500	568	534 A	308	313	311 B
Média	804 a	750 a		474 a	511 a		338 a	330 a	
Área foliar média final (cm ²)									
MA	1036	783	925 A	988	619	804 B	1755	983	1369 A
SM	1180	895	1047 A	1023	786	905 A	1718	1048	1324 A
Média	1103 a	839 b		1006 a	703 b		1739 a	1015 b	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, dentro de cada experimento, não diferem entre si a 5%. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, dentro de cada experimento e variável, não diferem entre si a 5%. No experimento E3 não foram medidas as variáveis estatura inicial e final.

Quadro 2. Transpiração total média, consumo médio de água e coeficiente de transpiração dos clones de batata ‘Macaca’ (MA) e ‘SMINIA793101-3’ (SM) submetidos aos regimes sem déficit (SDH) e com déficit hídrico (CDH), cultivados em ambiente protegido por abrigo telado em três experimentos (E1, E2 e E3), com datas de aplicação do déficit hídrico em 23/09/2008, 10/11/2008 e 18/04/2009, respectivamente. Cada valor é a média de 10 plantas. Santa Maria, RS, 2008-2009

Clone	E1			E2			E3		
	Regime Hídrico		Média	Regime Hídrico		Média	Regime Hídrico		Média
	SDH	CDH		SDH	CDH		SDH	CDH	
Transpiração (g/planta)									
MA	2006 a ¹ B ²	1145 bA	1629	2840	1056	1948 A	2624	1260	1942 A
SM	2724 aA	1141 bA	1985	2781	1097	1939 A	2683	1267	1850 A
Média	2344	1143		2811 a	1077 b		2648 a	1263 b	
Consumo (g/planta dia ⁻¹)									
MA	182	104	148 A	316	117	216 A	219	105	162 A
SM	195	81	142 A	309	122	215 A	224	106	154 A
Média	188 a	93 b		312 a	120 b		221 a	105 b	
Coeficiente de transpiração (L H ₂ O kg ⁻¹ massa seca)									
MA	173	163	169 A	218	216	217 A	149	127	138 A
SM	163	140	152 A	219	181	200 A	153	134	142 A
Média	169 a	151 a		218 a	199 a		151 a	131 b	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, dentro de cada experimento, não diferem entre si a 5%. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, dentro de cada experimento e variável, não diferem entre si a 5%.

três experimentos (exceto apenas no regime hídrico SDH no E1), porém houve diferença entre os regimes hídricos, exceto para o CT nos experimentos E1 e E2 (Quadro 2). No experimento E2 foram obtidos os maiores valores de transpiração total por planta, consumo médio diário por planta e CT (Quadro 2). Isso se explica pelo fato de que durante esse experimento houve valores médios de temperatura e densidade de fluxo de radiação solar global mais altos, o que determinou maior demanda atmosférica e, conseqüentemente, maior extração de água pelas plantas.

As relações da TR e do CFR com a FATS, para os dois clones de batata em cada experimento, são apresentadas nas figuras 1 e 2, respectivamente. Verifica-se maior variabilidade nos valores de TR nos experimentos E1 e E3 (Figura 1a,b,e,f), que foram conduzidos com temperatura do ar e radiação

solar mais baixas e, conseqüentemente, com menor demanda atmosférica se comparado com o experimento E2. Sinclair & Ludlow (1986) também verificaram essa variabilidade, principalmente, sob condições de baixas temperaturas (inferiores a 15 °C), quando a transpiração foi menor, ou com maior variação na temperatura do ar durante o experimento (Lecoeur & Sinclair, 1996). Os valores de CFR (Figura 2), de maneira geral, apresentam maior variabilidade que os valores de TR (Figura 1), o que também se constata em outros trabalhos (Lecoeur & Sinclair, 1996).

Observa-se diferença de resposta da TR entre os clones de batata (MA e SM) e entre os experimentos (E1, E2 e E3) à medida que ocorre redução da FATS (Figura 1). A análise estatística mostrou efeito não significativo da interação clones x experimentos para a variável FATS crítica (Quadro 3), indicando

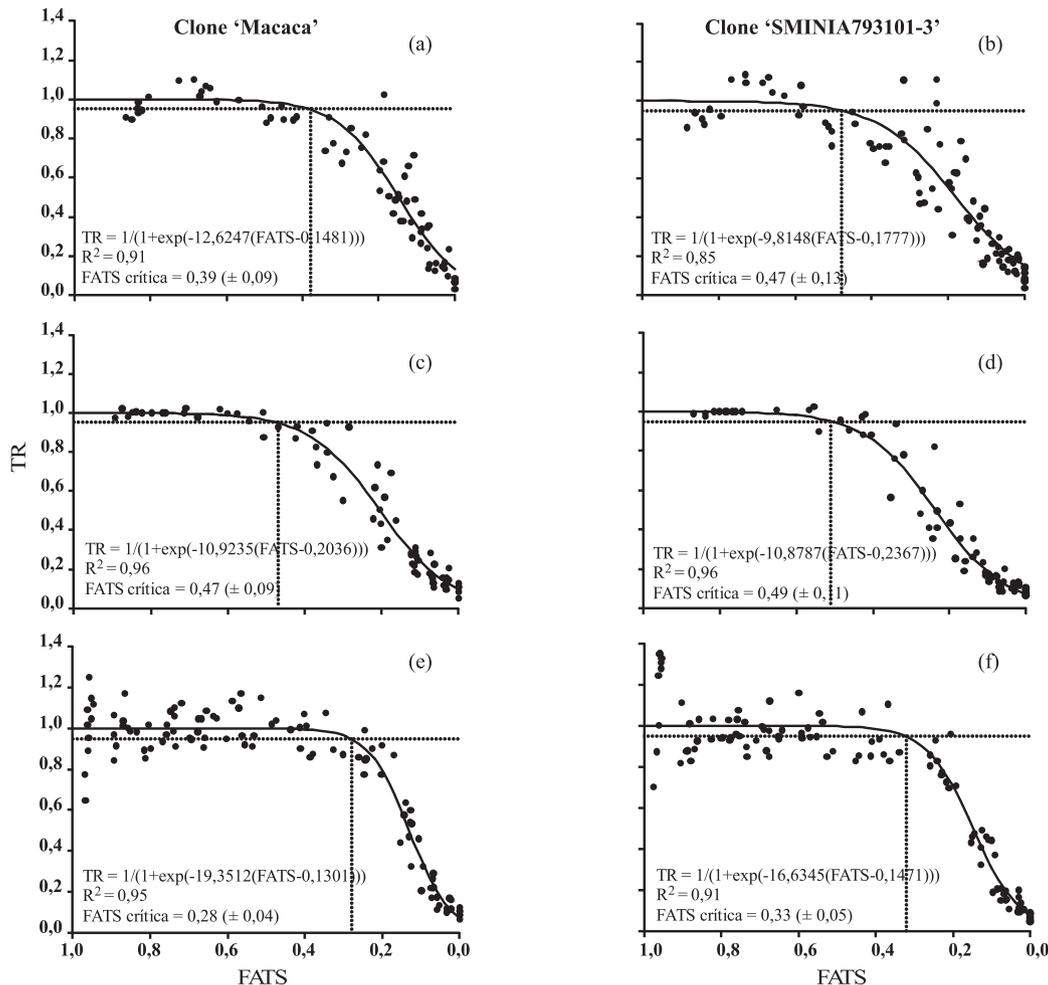


Figura 1. Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata ‘Macaca’ e ‘SMINIA793101-3’, cultivados em ambiente protegido por abrigo telado em três experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 23/09/2008 (a, b), 10/11/2008 (c, d) e 18/04/2009 (e, f). A FATS crítica corresponde ao valor de TR = 0,95 estimado pela equação logística apresentada em cada painel. Santa Maria, RS, 2008-2009.

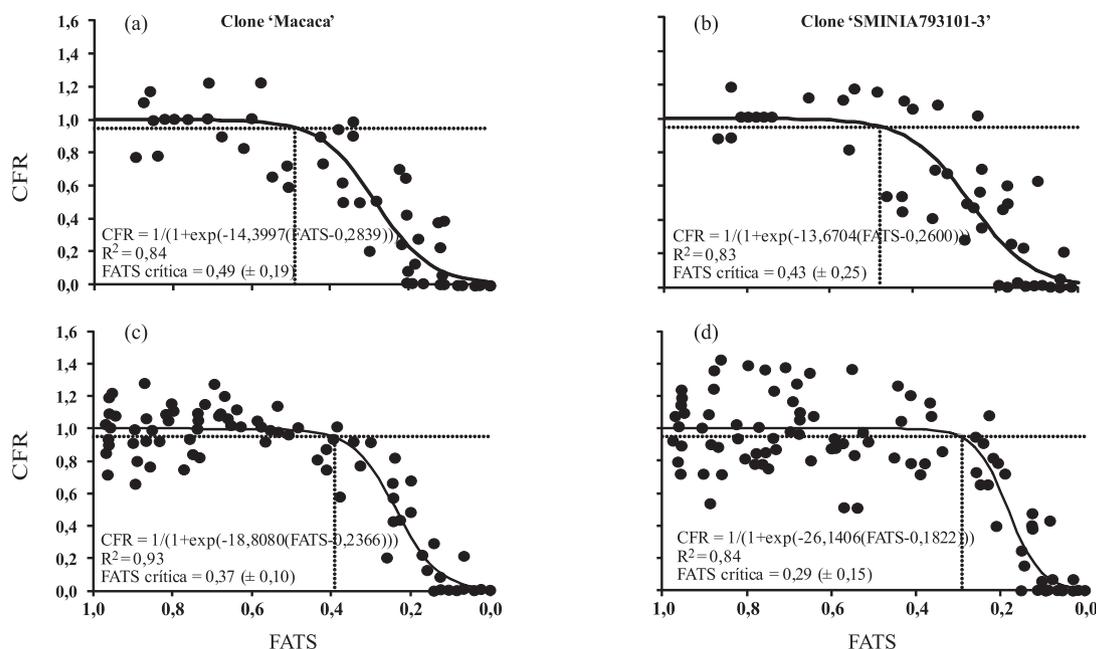


Figura 2. Crescimento foliar relativo normalizado (CFR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para os clones de batata ‘Macaca’ e ‘SMINIA793101-3’, cultivados em ambiente protegido por abrigo telado em dois experimentos, com início da aplicação do déficit hídrico em 10/11/2008 (a, b) e 18/04/2009 (c, d). A FATS crítica corresponde ao valor de CFR = 0,95 estimado pela equação logística apresentada em cada painel. Santa Maria, RS, 2008-2009.

que a resposta dos clones foi a mesma nos três experimentos. O valor médio estimado de FATS crítica foi de 0,39, 0,47 e 0,28 no clone MA e de 0,47, 0,49 e 0,33 no clone SM, para os experimentos E1, E2 e E3, respectivamente (Quadro 3 e Figura 1), ou seja, consistentemente a TR começa a ser reduzida, com valor de FATS crítica maior para o clone SM do que para o clone MA nos três experimentos. Na média dos três experimentos, a FATS crítica para

transpiração foi significativamente menor no clone MA (0,38) do que no clone SM (0,43) (Quadro 3). Esses resultados indicam que em condições de baixa disponibilidade de água no solo o fechamento estomático ocorre antes no clone SM do que no clone MA, o que, segundo Muchow & Sinclair (1991), conserva água no solo e é um critério adaptativo do clone para suportar deficiência hídrica prolongada.

Quadro 3. Fração de água transpirável no solo em que se inicia o fechamento estomático (FATS crítica) para transpiração relativa (TR) e crescimento foliar relativo (CFR) dos clones de batata ‘Macaca’ (MA) e ‘SMINIA793101-3’ (SM), cultivados em ambiente protegido por abrigo telado em três experimentos (E1, E2 e E3). Santa Maria, RS, 2008-2009

Clone	E1	E2	E3	Média
FATS crítica para TR				
MA	0,39 ⁽¹⁾	0,47	0,28	0,38 B
SM	0,47	0,49	0,33	0,43 A
Média	0,43 a	0,48 a	0,31 b	
FATS crítica para CFR				
MA	--	0,49	0,37	0,43 A
SM	--	0,43	0,29	0,36 A
Média		0,46 a	0,33 b	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5 %.

Entre os experimentos, a FATS crítica para TR foi menor no E3 (cultivo de safrinha, no outono) e não diferiu no E1 e no E2 (cultivo de safra, na primavera). Esses resultados indicam que a diferença de demanda atmosférica nas duas épocas de cultivo altera a FATS crítica. No conjunto dos três experimentos, nos dois conduzidos durante a primavera, a densidade de fluxo de radiação solar incidente (que é a principal forçante da transpiração vegetal) foi maior do que no experimento conduzido na época de cultivo de outono; assim, no outono o fechamento estomático inicia-se quando o conteúdo de água no solo é mais baixo do que na primavera. Essa certamente é uma boa estratégia da planta (retardar o fechamento estomático com o secamento do solo) para compensar a diminuição de radiação solar no cultivo de outono em regiões subtropicais, onde a fotossíntese das plantas de batata é limitada pela baixa disponibilidade de radiação solar (Bisognin & Streck, 2009; Heldwein et al., 2009).

Os valores de FATS crítica em que a TR começa a ser reduzida obtidos neste estudo apresentaram variação de 0,28 a 0,49 e estão dentro da faixa de valores encontrados em outros trabalhos para diferentes culturas, como, por exemplo, os resultados obtidos por Sinclair & Ludlow (1986) para soja (0,40), guandu (0,40), feijão-mungo (0,40) e feijão-caupi (0,30); por Amir & Sinclair (1991) para trigo de primavera (0,30); por Ray & Sinclair (1997) para milho (0,36 a 0,60); por Davatgar et al. (2009) para arroz (0,46); por Bindi et al. (2005) para videira (0,35); e por Sinclair et al. (2005) para tuia (*Thuja plicata*) (0,35), bordo-vermelho (*Acer rubrum*) (0,26), falsa-acácia (*Robinia pseudoacacia* L.) (0,37), (*Hibiscus* sp.) (0,29) e azevinho-europeu (*Ilex aquifolium* L.) (0,33).

Comparando os resultados de FATS crítica para a TR obtidos neste trabalho com os reportados por Weisz et al. (1994) para outras cultivares de batata, observam-se semelhanças e diferenças. Os valores encontrados no E3 de 0,28 (MA) e 0,33 (SM) foram mais semelhantes aos valores críticos de FATS de 0,20 e 0,35 para as cultivares BelRus e Katahdin, respectivamente, encontrados por Weisz et al. (1994). Já os resultados de 0,39 e 0,47 no clone MA e 0,47 e 0,49 no clone SM, para os experimentos E1 e E2, respectivamente, foram mais diferentes dos valores obtidos por Weisz et al. (1994). No estudo de 1994, além dos clones diferentes, as condições ambientais foram distintas, alterando a resposta ao déficit hídrico dos clones de batata.

A FATS crítica para CFR foi maior para o clone MA (0,49 e 0,37 no E2 e E3, respectivamente) do que para o SM (0,43 e 0,29 no E2 e E3, respectivamente) (Figura 2), porém, na média dos dois experimentos, a diferença entre os clones não foi estatisticamente significativa (Quadro 3). Esses valores são menores

que os obtidos por Weisz et al. (1994), em que o crescimento foliar começou a declinar a partir de um valor de FATS crítica de 0,6, novamente indicando diferenças entre os clones de batata adaptados a regiões temperadas e os adaptados a regiões subtropicais. Comparando as figuras 1 e 2, observa-se que no clone MA o CFR (Figura 2a,c) começou a ser reduzido a uma FATS crítica mais elevada do que para a TR (Figura 1c,e). O fato de ter havido redução do CFR antes de a TR ter sido alterada indica que pode ter ocorrido diminuição da turgescência celular antes de o mecanismo de fechamento estomático ser ativado, levando assim a uma redução na expansão celular e conseqüente redução do crescimento foliar (Shao et al., 2008; Taiz & Zaiger, 2009). Já para o clone SM a resposta foi inversa, ou seja, a TR começou a ser reduzida a uma FATS crítica maior do que para o CFR, indicando que a TR é alterada antes de haver redução no CFR, neste clone. Esse resultado indica que as plantas do clone SM podem ter um mecanismo de controle estomático mais eficiente do que as do clone MA, pois conseguem reduzir o consumo de água, provavelmente, devido à menor abertura estomática, retardando o efeito de redução no crescimento foliar.

Entre os experimentos, a FATS crítica para CFR foi menor no E3 (cultivo de safrinha, no outono) do que no E2 (cultivo de safra, na primavera), repetindo a resposta da FATS crítica para TR (Quadro 3), ou seja, reforçando a hipótese, já mencionada, da boa estratégia da planta de batata em retardar o fechamento estomático com o secamento do solo para compensar a baixa radiação solar no outono em regiões subtropicais.

Os resultados deste estudo indicam que há variabilidade genética para tolerância ao déficit hídrico em batata. MA é um clone local antigo e que apresenta menos tolerância ao déficit hídrico em comparação com o clone avançado SM, selecionado pela adaptação, qualidade de tubérculo e resistência às principais doenças, mas que se mostra também com maior tolerância ao estresse devido ao déficit hídrico. No cultivo de batata em ambiente subtropical do Brasil, são realizados dois cultivos por ano: um com plantio no final do verão (safrinha) e outro com plantio no final do inverno (safra) (Bisognin & Streck, 2009; Heldwein et al., 2009). Nesses dois cultivos, a demanda atmosférica é elevada no início e no final do ciclo de desenvolvimento, respectivamente, e com frequência as plantas são expostas à deficiência hídrica.

CONCLUSÕES

1. A FATS crítica que começa a alterar a transpiração - indicativo do início do fechamento

estomático - é mais elevada para o clone 'SMINIA793101-3' do que para o 'Macaca'.

2. O crescimento foliar começa a ser reduzido com valor de FATS crítica maior para o clone 'Macaca' do que para o 'SMINIA793101-3'.

3. O clone 'SMINIA793101-3' é mais tolerante ao déficit hídrico no solo que o 'Macaca'.

LITERATURA CITADA

- AMIR, J. & SINCLAIR, T.R. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res.*, 29:59-96, 1991.
- BINDI, M.; BELLESI, S.; ORLANDINI, S.; FIBBI, F.; MORIONDO, M. & SINCLAIR, T. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of Sangiovese Grapevines grown in pots. *Am. J. Enol. Vitic.*, 56:68-72, 2005.
- BISOGNIN, D.A. & STRECK, N.A. Desenvolvimento e manejo das plantas para alta produtividade e qualidade da batata. Itapetininga, Associação Brasileira da Batata, 2009. 30p.
- BURIOL, G.A.; STRECK, N.A.; PETRY, C. & SCHNEIDER, F.M. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Ci. Rural*, 25:1-4, 1995.
- DAVATGAR, N.; NEISHABOURI, M.R.; SEPASKHAH, A.R. & SOLTANI, A. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. *Intern. J. Plant Produc.*, 3:19-32, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- HELDWEIN, A.B.; STRECK, N.A. & BISOGNIN, D.A. Batata. In: MONTEIRO, J.E.B.A., org. Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, INMET, 2009. p.91-108.
- JYOSTNA DEVI, M.; SINCLAIR, T.R.; VADEZ, V. & KRISHNAMURTHY, L. Peanut genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying. *Field Crops Res.*, 114:280-285, 2009.
- LECOEUR, J. & SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Sci.*, 36:331-335, 1996.
- LIU, F.; SHAHNAZARI, A.; ANDERSEN, M.N.; JACOBSEN, S.E. & JENSEN, C.R. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. *J. Exper. Bot.*, 57:3727-3735, 2006.
- MARTINS, F.B.; STRECK, N.A.; SILVA, J.C.; MORAIS, W.W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M.C. & VIVIAN, M.A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1297-1306, 2008.
- MUCHOW, R.C. & SINCLAIR, T.R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and "greenhouse" climates. *Agron. J.*, 83:1052-1059, 1991.
- PEREIRA, A.S. & CASTRO, C.M. Batata 'Macaca' (Macaquinha, Rosa Redonda, Rosa Maçã). Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 2006. 2p. (Comunicado Técnico, 147)
- RAY, J.D. & SINCLAIR, T.R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. *Crop Sci.*, 37:803-807, 1997.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO / COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - SBSC/CQFS. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, 2004. 394p.
- SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C.A. & ZHAO, C. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biol.*, 331:215-225, 2008.
- SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A. & CARDOSO, A.A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. *Floresta*, 34:325-335, 2004.
- SINCLAIR, T.R. & LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Austr. J. Plant Physiol.*, 13:319-340, 1986.
- SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M. & ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. *Tree Physiol.*, 25:1469-1472, 2005.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 848p.
- WEISZ, R.; KAMINSKI, J. & SMILOWITZ, Z. Water deficit effects on potato leaf growth and transpiration: Utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. *Am. Potato J.*, 71:829-840, 1994.