

## Fenotipagem de Batata (*Solanum tuberosum* L.) para Tolerância à Seca, Baseada na Redução do Potencial Osmótico da Água com Polietileno Glicol em Solução Hidropônica



ISSN 1516-8840

Setembro, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos**387

# **Fenotipagem de Batata (*Solanum tuberosum* L.) para Tolerância à Seca, Baseada na Redução do Potencial Osmótico da Água com Polietileno Glicol em Solução Hidropônica**

*Carlos Reisser Júnior  
Caroline Marques Castro  
Carlos Alberto Barbosa Medeiros  
Ângela Rohr  
Arione da Silva Pereira*

Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**Comitê de Publicações da Unidade Responsável**

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária-Executiva: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Apes Falcão Perera, Daniel Marques Aquini, Eliana da Rosa Freire Quincozes, Marilaine Schaun Pelufe.*

Revisão de texto: *Ana Luiza B. Viegas*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Jaqueline Jardim (estagiária)*

Foto(s) de capa: *Paulo Lanzetta*

**1ª edição**

1ª impressão (2015): 30 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Clima Temperado

---

F339 Fenotipagem de batata (*S. tuberosum* L.) para tolerância à seca, baseada na redução do potencial osmótico da água com polietileno glicol em solução hidropônica / Carlos Reisser Júnior... [et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 28 p. (Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1516-8840 ; 387)

1. Batata. 2. Genética vegetal. 3. *Solanum tuberosum*.  
I. Reisser Júnior, Carlos. II. Série.

# **Autores**

## **Carlos Reisser Junior**

Engenheiro-agrícola, M.Sc. em Irrigação e drenagem, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

## **Caroline Marques Castro**

Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Genética, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

## **Carlos Alberto Barbosa Medeiros**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Nutrição Mineral, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

## **Ângela Rohr**

Bióloga, M.Sc., doutoranda da UFPel, Pelotas-RS

## **Arione da Silva Pereira**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Melhoramento Genético, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS



# Apresentação

Um dos grandes desafios da agricultura contemporânea é aumentar a eficiência do uso da água. Este desafio deve-se não somente ao fato relacionado à redução da disponibilidade de água por mudanças ou variações do clima, mas também devido à possibilidade de aumentar a produção de alimentos em regiões menos favorecidas climaticamente por este fator.

Novas práticas agrícolas e inovações na área de irrigação nem sempre são suficientes para tornar mais eficiente o uso da água na agricultura. O desenvolvimento de material genético tolerante à seca é outro fator que, logicamente, pode conferir maior eficácia aos sistemas de produção quanto ao uso deste recurso natural.

Em conjunto, a Embrapa Clima Temperado, a Embrapa Hortaliças (Brasília, DF) e a Embrapa Produtos e Mercado (Canoinhas, SC) desenvolvem um programa de melhoramento genético de batata, visando contribuir no atendimento de demandas da cadeia brasileira da batata. Um dos objetivos do programa é desenvolver cultivares que, além de alto potencial produtivo e características de mercado, apresente resistência a estresses bióticos e tolerância a estresses abióticos.

No processo de identificação de fontes genéticas e de seleção de caracteres de interesse é fundamental dispor de métodos eficientes e viáveis. Neste sentido, foi desenvolvida uma metodologia para avaliar a tolerância à seca em batata. Esta metodologia, descrita neste documento, foi validada e incorporada no programa de melhoramento genético de batata da Embrapa.

Espera-se que esta metodologia sirva aos programas de melhoramento de batata auxiliando no desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca, contribuindo para a redução da dependência do uso da água bem como viabilizando a produção desta cultura em regiões com maior risco de déficit hídrico.

*Clenio Nailto Pillon*  
Chefe-Geral  
Embrapa Clima Temperado

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	9
<b>Sistema</b> .....	14
<b>Solução nutritiva</b> .....	16
<b>Correção da solução</b> .....	18
<b>Solução com polietileno glicol 6000</b> .....	19
<b>Manejo do déficit hídrico</b> .....	20
<b>Avaliação das plantas para seleção</b> .....	20
<b>Recomendações</b> .....	23
<b>Referências</b> .....	24



# **Fenotipagem de Batata (*Solanum tuberosum* L.) para Tolerância à Seca, Baseada na Redução do Potencial Osmótico da Água com Polietileno Glicol em Solução Hidropônica**

*Carlos Reisser Júnior*  
*Caroline Marques Castro*  
*Carlos Alberto Barbosa*  
*Medeiros*  
*Ângela Rohr*  
*Arione da Silva Pereira*

## **Introdução**

Crescimento vegetal é um pré-requisito para que a planta se reproduza porque, normalmente, não ocorre divisão celular sem que a célula a ser dividida atinja o tamanho da célula que a formou. Portanto, crescimento é a atividade óbvia das plantas para que estas aumentem de tamanho e tornem-se mais numerosas. Por consequência, pode-se dizer que crescimento de uma planta é o aumento do conteúdo de água das células, pois o maior responsável pelo alongamento das células é a turgescência gerada pela energia potencial da água na célula (KRAMER; BOYER, 1995).

Se for confirmada a redução da disponibilidade de água doce na Terra, a agricultura será prejudicada devido à sua grande dependência deste recurso. A demanda por irrigação para produção de alimentos perderá a competição para o consumo humano, o que pode ser solucionado ou amenizado com a adaptação dos cultivos de sequeiro a esta nova condição. Condon et al. (2004) citam que o melhoramento vegetal, visando variedades mais eficientes no uso da água, usadas

juntamente com o melhor manejo da água e das culturas, é estratégia para racionalizar o uso da água.

Kramer e Boyer (1995) citam que, normalmente, em programas de melhoramento que buscam genótipos para máxima produtividade, a água não é restringida. A eficiência hídrica será máxima quando a produtividade também for, visto que existe uma relação linear entre produtividade e consumo de água. Os autores citam ainda que o ajuste osmótico ocorre em condições de déficit hídrico, assim como o aprofundamento de raízes. Portanto, não será adequado proceder a seleção de genótipos, visando tais características se a deficiência hídrica não estiver presente durante estádios chaves do desenvolvimento da cultura.

Para buscar fontes e mecanismos de resistência genética à seca de batata, Gabriel et al. (2011), usaram como método para gerar deficiência hídrica às plantas, o número de dias sem irrigação em vasos dentro de estufas plásticas. Os autores avaliaram parâmetros morfológicos, fisiológicos, mecanismos de resistência da planta e componentes do rendimento. Das variáveis analisadas, os autores perceberam que o número e a área ocupada pelos estômatos apresentaram-se associados à tolerância da planta ao déficit hídrico e que a eficiência hídrica (WUE) foi classificada pelos autores como um mecanismo de tolerância muito complexo.

Um dos problemas das metodologias de seleção é a elevada variabilidade dos experimentos a campo como também os elevados custos dos experimentos em casas de vegetação, quando há necessidade de se cultivar plantas em vaso. Como forma de se resolver estes problemas, vários pesquisadores estão utilizando soluções mais simples como as que usam substâncias redutoras do potencial osmótico das soluções, a exemplo daquelas usadas por Govindaraj et al. (2010). Estes autores mencionam que a realização de experimentos como este é uma forma ideal de selecionar um grande número de genótipos com menos trabalho e custo e com maior precisão.

Desde o início do uso de polietileno glicol (PEG) para causar redução da disponibilidade hídrica para as plantas por Largerwerff et al. (1961), vários melhoristas têm utilizado este produto para selecionar material genético mais resistente ou tolerante à esta causa abiótica. Os autores verificaram que a passagem do produto por dentro da planta não causa qualquer efeito danoso. Portanto não é fitotóxico para a planta, podendo ser usado no controle osmótico de soluções para cultivos. Hohl e Scopfer (1991), em experimentos *in vitro*, verificaram que as moléculas de PEG não são iônicas, são inertes e virtualmente impermeáveis e são frequentemente usadas para induzir estresse hídrico, mantendo o potencial da água uniforme durante todo o período experimental.

A grande maioria dos trabalhos com uso deste produto avalia a germinação de sementes e o seu crescimento inicial, visto que existe relação destas características com a resistência à seca (PARMER; MOORE, 1966; LOBATO et al., 2008). Por exemplo, Geetha et al. (2012) verificaram o sucesso da metodologia de uso de PEG 6000 para selecionar genótipos de girassol, avaliando a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas em laboratório. Os mesmos autores recomendam que esta metodologia deva ser um complemento do trabalho feito a campo (GEETHA et al., 2012).

Visando medir o acúmulo de solutos orgânicos na célula de plantas de batata (osmoregulagem), Büssis e Heineke (1998) usaram PEG 6000 junto à solução hidropônica aerada em vasos, para simular deficiência hídrica. Foi verificado que, logo que as plantas eram submetidas ao tratamento, a concentração de hexose aumentava dentro do vacúolo, causando um movimento de água do citosol e do cloroplasto para o vacúolo, reduzindo o potencial da água nestes compartimentos.

Seleção para tolerância à seca é um processo complicado devido a vários processos fisiológicos envolvidos e às suas interações com o ambiente. A avaliação das respostas morfológicas da planta à seca pode contribuir como um processo eficiente de seleção dos materiais

para futuros testes de hibridações e seleção dos fatores-chave associados a estas características das plantas (ALBISKI et al., 2012).

Levy et al. (2013) citam que a melhora da tolerância para salinidade e seca é de grande importância para os agricultores. Ferramentas moleculares modernas podem oferecer melhoras para o programa de melhoramento para tolerância das cultivares de batata a estresses, assim como criarão outro enfoque para se lidar com escassez de água e mudança climática.

Visando facilitar a seleção de genótipos tolerantes, ranqueando suas reações a uma condição de deficiência hídrica, testou-se o uso de polietileno glicol 6000 (PEG 6000) em um sistema hidropônico de calhas duplas articuladas (Patente N° PI0005711) desenvolvido pela Embrapa para multiplicação de material pré-básico de batata (MEDEIROS et al., 2002). Este sistema (Figura 1) permite que se possa comparar e selecionar um grande número de genótipos, sem que a variação do solo e do manejo da água interfira na experimentação. Além desta importante vantagem, o sistema permite acesso ao sistema radicular da planta sem a necessidade de destruí-la (Figura 2).

Este método, mesmo sendo em ambiente protegido, aproxima-se das condições de campo, podendo gerar informações mais próximas das reais condições de cultivo, que são mais apropriadas para o sistema de produção de batata. Albinski et al. (2012) concluíram que seleção de genótipos de batata em condições a campo são mais eficazes do que métodos de tolerância à seca in vitro e que as características das plantas geradas em laboratório, como crescimento da planta, devem ser testadas com as conseguidas nas condições de campo para que esta relação seja confirmada.

A metodologia proposta com uso do PEG em hidroponia, busca também padronizar a metodologia de seleção de material genético de batata. Por reduzir grande parte dos fatores relacionados à variabilidade espacial, como os do solo, as respostas da planta

podem ser comparadas entre si, pois estão submetidas as mesmas condições de clima, podendo ser realizadas em qualquer época e local. Rohr (2012), em seu trabalho utilizando a metodologia proposta, verificou que a época da experimentação é importante, visto que a demanda climática influi sobre a resposta das plantas, mas proporciona variabilidade entre elas.

Fotos: Carlos Reiser Júnior



**Figura 1.** Vista geral do sistema hidropônico localizado na Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, em estufas plásticas fechadas com telas.



**Figura 2.** Sistema de calhas duplas com vista parcial do sistema radicular da planta.

## Sistema

O sistema hidropônico utilizado para criar a condição de estresse hídrico nas plantas (Figura 1) é o mesmo usado na Embrapa Clima Temperado para a produção de batatas-sementes (tubérculos) pré-básicas, citado no trabalho de Medeiros et al. (2002).

A estrutura é composta por um conjunto de duas calhas de PVC sobrepostas, onde a superior, que sustenta as plantas, é fixa e sustentada em uma estrutura de madeira, e a inferior, onde fica a parte subterrânea da planta é articulada permitindo acesso às raízes, estolões e tubérculos. (Figura 3).

Fotos: Carlos Reisser Júnior



**Figura 1.** Vista geral do sistema hidropônico localizado na Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, em estufas plásticas fechadas com telas.

Sobre a calha superior são feitos orifícios com 25 mm, onde as plantas são introduzidas (Figura 4). Sob estes orifícios, apoiados na calha inferior, são colocadas as plântulas ou minitubérculos já brotados em esponjas fenólicas, de modo que, ao crescerem, seus ramos passem por estes e se desenvolvam normalmente.

Na calha inferior onde se coloca a plântula e onde se desenvolve o sistema radicular, é onde passa a solução nutritiva a qual circula em circuito fechado, acionada a cada 15 minutos durante o dia e a cada 30 minutos durante a noite, por 15 minutos. Após a solução fluir na calha inferior, com inclinação de 4%, onde estão as raízes, esta é coletada por um sistema de tubos de drenagem e direcionada para

Fotos: Carlos Reisser Júnior



**Figura 4.** Orifícios da calha superior onde são fixadas as plantas.

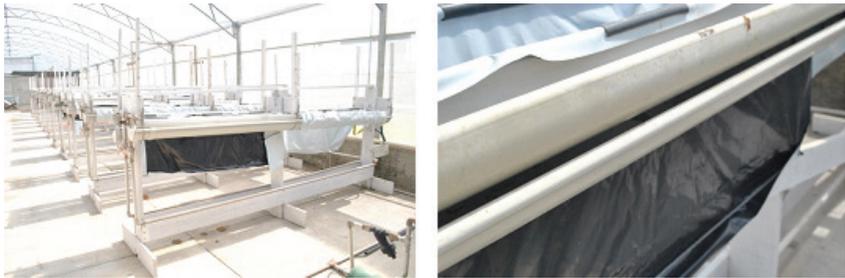
um depósito de fibra de vidro ou plástica, onde também se posiciona a bomba hidráulica, a qual a pressuriza novamente para outro ciclo de irrigação (Figura 5 e Anexo 1). É importante que o corpo da bomba hidráulica seja de material não oxidável, como PVC ou aço inoxidável, para maior durabilidade. O conjunto de motobomba deve ser regulado de modo a proporcionar uma vazão de 1 L min<sup>-1</sup> em cada calha e o volume de solução para ser utilizado no sistema deve ser calculado tendo como base 2 litros por plântula.



**Figura 5.** Depósito da solução e bombeamento e esquema de circulação da solução nutritiva, em circuito fechado, do sistema de hidropônico usado para produção de tubérculos de batata.

No sistema de calhas deve-se cuidar para que a luz seja reduzida junto ao sistema radicular, para evitar o esverdeamento e rebrote dos novos tubérculos e estolões, bem como o desenvolvimento de fungos. Para isso, utiliza-se um filme plástico de dupla face (preto-branco) de forma a envolver a junção entre as calhas (Figura 6). Uma cortina é confeccionada fixando-a na borda da calha superior e envolvendo a inferior onde é fixada. Também nas cabeceiras das calhas, onde a solução nutritiva é colocada, o mesmo filme plástico é colocado, também visando a redução da penetração de luz neste local. Outro ponto importante para evitar o problema com o desenvolvimento de fungos na solução nutritiva é a utilização de tubos opacos e reservatório fechado, para evitar ao máximo a presença de luz junto às raízes das plantas e à solução nutritiva.

Fotos: Carlos Reisser Júnior



**Figura 6.** Cortina lateral para evitar a entrada de luz junto ao sistema radicular da planta.

## Solução nutritiva

As soluções testadas com sucesso para a produção de batatas foram três. As formulações mostradas na Tabela 1 podem ser utilizadas em substituição às da Tabela 2, caso não seja possível a aquisição dos produtos componentes já industrializados, os quais, por facilidade, têm sido os mais utilizados. A mistura dos ingredientes pode ser feita no tanque, baseada nas doses indicadas conforme cada receita. A solução comercial baseada em misturas de nutrientes vem mostrando maior praticidade, principalmente na facilidade de confecção, do cálculo dos componentes e de sua aquisição.

A mesma solução também é usada para completar o volume de solução consumida pelo sistema, sempre cuidando a proporção entre o nitrogênio nas formas nítrica e amoniacal. Esta proporção deve ser usada de forma que não haja variação muito grande do pH da solução durante o desenvolvimento da cultura (MEDEIROS, 2002).

**Tabela 1.** Elementos químicos componentes das soluções usadas em hidroponia para produção de minitubérculos de batata. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.

Nutriente	Furlani*	Clark*
	(1998) mgL <sup>-1</sup>	(1982) MgL <sup>-1</sup>
N	198	360
	7:1- O3:NH4	
P	39	12
K	183	298
Ca	142	302
Mg	38	37,8
S	52	58,5
Fe	2	2,76
Mn	0,4	0,97
Cu	0,02	0,07
Zn	0,06	0,3
B	0,3	0,53
Mo	0,06	0,15

\*Soluções propostas pelos autores

**Tabela 2.** Elementos químicos componentes da solução usada em hidroponia para produção de minitubérculos de batata, indicada por Medeiros et al. (2002). Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.

Nutriente	Cristalon	Nitrato	Tenso
	Laranja® (0,8 gL <sup>-1</sup> )	de Cálcio (0,8gL <sup>-1</sup> )	Cocktail® (0,03 gL <sup>-1</sup> )
	%	%	%
N	6	16,5	
P	12	12	
K	36		
Ca		19	2,57 EDTA
Mg		3	
S		8	
Fe			2,1 + 1,74 EDTA - DTPA
Mn			2,57 EDTA
Cu			0,53 EDTA
Zn			0,53 EDTA
Bo			0,52
Mo			0,13

## Correção da solução

Quando o volume da solução no reservatório é reduzido a um predeterminado, relativo ao mínimo para funcionamento ideal do sistema, este deve ser repostado, utilizando a mesma solução com a concentração de potencial igual ao predeterminado no início de aplicação do estresse.

A correção da solução do sistema deve ser feita sempre que o seu pH sair fora da faixa adequada entre 5,3 e 6,3. A correção da condutividade elétrica deve ser feita sempre que o valor ficar 10% acima ou abaixo de 1,8 dS m<sup>-1</sup>.

Para corrigir a solução quando esta apresenta o pH acima de 6,3, (mais básica), utiliza-se uma solução concentrada à base de volume de 1/3 de ácido clorídrico (HCl), 2/3 de água. Quando a solução apresenta pH abaixo de 5,3 (mais àcida), utiliza-se uma solução a base de peso de 15% de hidróxido de sódio (NaOH) e água. Com estas soluções concentradas e com o pHmetro, vai se adicionando aos poucos a solução concentrada até que a solução do sistema atinja o pH adequado.

Para corrigir a condutividade elétrica da solução quando esta se encontra fora do limite utiliza-se somente água, até que o valor medido no condutivímetro atinja o valor adequado.

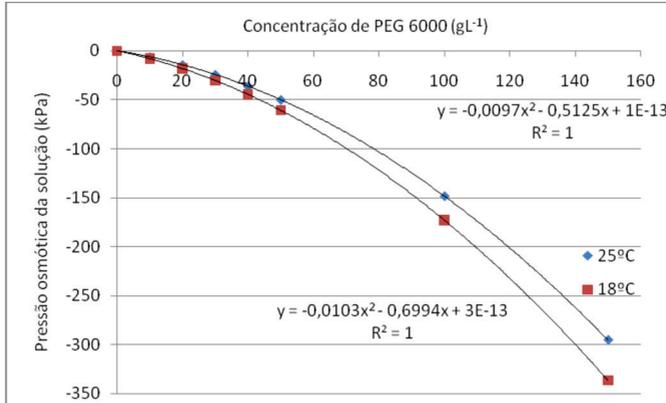
## **Solução com polietileno glicol 6000**

A utilização de polietileno glicol (PEG 6000), de fórmula química (H-(OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)-OH), determina que quanto maior sua concentração menor é o potencial hídrico da solução. O potencial osmótico ou pressão osmótica da solução é função da temperatura e da concentração de PEG 6000, dada pela equação abaixo:

$$OP = (-1,18 \times 10^{-2}) \times C - (1,18 \times 10^{-4}) \times C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) \times C \times T + (8,39 \times 10^{-7}) \times C^2 T$$

Onde: C= concentração de PEG 6000 (g L<sup>-1</sup>) e T= Temperatura da solução (°C).

Em função somente da concentração de PEG 6000, para uma temperatura de 25 °C, a equação é igual a da Figura 7, mostrada no gráfico.



**Figura 7.** Gráfico e equação que representa a relação entre a pressão osmótica e a concentração de PEG 6000 de uma solução para temperaturas de 25 °C e 18 °C. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.

Em caso de formação de elementos gelatinosos devido à presença de PEG junto às raízes, ocasionando o entupimento do sistema, a solução deve ser trocada para que o sistema se mantenha em funcionamento com a manutenção ou não do estresse.

## Manejo do déficit hídrico

A aplicação da deficiência hídrica às plantas é feita quando se troca a solução nutritiva pela solução nutritiva com PEG 6000. A colocação desta solução é feita no início da tuberização, período de maior sensibilidade da cultura, conforme Bezerra et al. (1998), por até quinze dias ou até que as plantas sob estresse apresentem sinais de senescência. Após esta fase, espera-se o encerramento do ciclo com solução sem PEG, inclusive as plantas testemunhas, sem estresse hídrico.

## Avaliação das plantas para seleção

As variáveis das plantas que melhor relacionam-se com tolerância à seca ainda não são totalmente conhecidas ou não foram comparadas em um só trabalho para avaliação. Vários autores testaram algumas e

dentre as avaliadas recomendaram as com melhor resultado. Portanto, dentro do possível e baseado em infraestrutura existente, deve-se realizar o maior número de avaliações possíveis, para que no futuro se possa eleger uma universal e que realmente possa ser indicadora de características genéticas das plantas com esta característica de tolerância ou resistência. Dentre as várias avaliações realizadas por alguns autores, pode-se destacar: germinação, produção de biomassa e crescimento de raízes (GEETHA et al., 2012).

Outras medidas relativas às plantas sob estresse que podem ser feitas para selecionar plantas de comportamento diferente são, de acordo com Agroiinfo (2011), características de tamanho do sistema radicular, manutenção da fotossíntese sob restrição de transpiração, endurecimento dos tecidos, conteúdo de água nos tecidos associado a tamanho pequeno de células, alta concentração de solutos na célula, aumento da permeabilidade do protoplasma e alta viscosidade do citoplasma.

Chaves et al. (2004) citam que plantas com condutância estomática, transpiração e potencial hídrico foliar menores, sob exposição à temperatura foliar mais elevada, mantendo seu níveis de produção de biomassa, são também indicativas de tolerância.

No protocolo do CIMMYT para seleção à seca são avaliadas as seguintes variáveis das plantas: altura da planta, altura de inserção da espiga, data de floração, data de formação da espiga, intervalo entre as datas, data de maturação fisiológica, umidade e peso de grãos, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em determinada data, conteúdo de clorofila, condutância estomática em determinada data, espectrometria de massa, conteúdo de amido na semente, conteúdo de N nos grãos, medidas de folhas com espectrorradiômetro (Wather Index e Índice de radiação fotoquímica- PRI) e imagens fototérmicas das folhas (Drought Phenotyping Protocol CIMMYT, 2009).

Matéria seca de folhas e de raízes, uso e eficiência da água, prostração e recuperação da turgescência após irrigação, volume, número e peso de tubérculos, área estomática, maior área e número de estômatos de acordo com Gabriel et al. (2011) também podem servir para separar genótipos. Produção e tamanho de tubérculos de batata são muito afetados pelo déficit hídrico. Se não houver deficiência no enchimento de tubérculos, os existentes desenvolvem-se normalmente (BEZERRA et al., 1998).

No trabalho de Heuer e Nadler (1998), os autores citam que pressão de turgor é um dos melhores indicadores de estado hídrico da planta. Com afirmação, os autores verificaram que valores de maior pressão de turgor foram os melhores relacionados com ajuste osmótico. Os autores também verificaram que tamanho de célula pequeno e elevada elasticidade da parede celular, manutenção dos níveis de potássio na folha e parâmetros de crescimento podem não ser bons indicativos da condição hídrica da planta mas os parâmetros fisiológicos podem dar um bom indicativo de como a planta de batata irá resistir à seca (HEUER; NADLER, 1998).

Por sua vez, Liu et al. (2005) recomendam que o conteúdo relativo de água na folha, potencial de água na folha e na raiz, condutância estomática, fotossíntese e concentração de ABA da seiva do xilema podem ser bons indicadores de estresse. Lerna, Mauromicale (2006) também verificaram a eficiência da condutância estomática quando relacionada com a taxa fotossintética, para determinação da sensibilidade à seca.

Outras características das plantas verificadas por Condon et al. (2004) são as combinadas entre elevado valor da relação fotossíntese e transpiração (FS/Tr), como também o crescimento inicial rápido da área foliar. Plantas com estas características têm mostrado alto potencial produtivo em vários ambientes. Os mesmos autores verificaram que plantas que possuem grande desenvolvimento foliar inicial possuem característica favorável para resistir à seca em alguns ambientes.

Medida de fluorescência da clorofila é uma medida importante para selecionar materiais genéticos tolerantes à seca por serem mais práticos do que medidas de potencial da água na planta e mais precisos do que sobrevivência de plantas submetidas à baixa disponibilidade hídrica.

## **Recomendações**

Conforme Blum (2013), é recomendado que o potencial osmótico da solução com PEG seja medido com equipamento adequado e não calculado e que, embora o produto possua alto peso molecular, as plantas o absorvem e a taxa de absorção e concentração nas raízes e ramos depende da espécie, da concentração de PEG e do tempo de exposição e dos danos apresentados nas raízes. O aparecimento de um tipo de gel junto às raízes pode causar entupimento do sistema. Deve-se cuidar na formulação de soluções com PEG e outros sais devido à presença de contaminações e, principalmente, fitotoxicidade de fósforo (LARGERWERFF et al., 1961).

## Referências

- AGRIINFO. **Basis of drought resistance**. 2011. Disponível em: <<http://www.agriinfo.in/default.aspx?page=topic&superid=3&topicid=2154>>. Acesso em: 10 maio 2013.
- ALBISKI, F.; NAJLA, S.; SANOUBAR, R.; ALKABANI, N.; MURSHED, R. In vitro screening of potato lines for drought tolerance. **Physiological and Molecular Biology of Plants**, v. 18, n. 4, p. 315-321, 2012.
- BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Deficiência hídrica em vários estágios de desenvolvimento da batata. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 119-123. 1998.
- BLUM, A. **Use of PEG to induce and control plant water deficit in experimental hydroponics' culture**. Plantstress. Disponível em: <<http://www.plantstress.com/methods/peg.htm>>. Acesso em: 01 jan. 2013.
- BÜSSIS, D.; HEINEKE, D. Acclimatation of potato plants to polyethylene glycol-induced water deficit. II. Contents and subcellular distribution of organic solutes. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 325, p. 1361-1370. 1998.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, p. 333-341, 2004.

CLARK, R. B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, n. 8, p. 1039-1057, 1982.

CONDON, A. G.; RICHARDS, R. A.; REBETZKE, G. J.; FARQUHAR, G. D. Breeding for high water-use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2447-2460, 2004.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. Campinas: IAC, 1998. (IAC. Boletim Técnico, 168).

GABRIEL, J.; PORCO, P.; ANGULO, A.; MAGNE, J.; LATORRE, J.; MAMANI, P. Resistencia genética a estrés hídrico por sequía em variedades de papa (*Solanum tuberosum*, L.) bajo invernadero. **Revista Latinoamericana de La papa**. v. 16, n. 2, p. 173-208, 2011.

GEETHA, A.; SIVASANKAR, A.; LAKSHMI, P.; SIRES, J.; SAIDIAH, P. Screening of sunflower genotypes for drought tolerance under laboratory conditions using PEG. **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, v. 44, n. 1, p. 28-41, 2012.

GOVINDARAJ, M.; SHANMUGSUNDARAM, P.; SUMATHI, P.; MUTHIAH, A. R. Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, n. 4, p. 590-599, 2010.

HEUER, B.; NADLER, A. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. **Plant Science**, v. 137, p. 43-51, 1998.

HOHL, M.; SCOPFER, P. Water relations of growing maize coleoptiles. Comparison between mannitol and polyethylene glycol 6000 as external osmotic for adjusting turgor pressure. **Plant Physiology**, v. 95, p. 716-722, 1991.

IERNA, A.; MAUROMICALE, G. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. **Agricultural and water management**, v. 82, n. 1, p. 193-209, 2006.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. Growth. In: KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego California: Academic Press, 1995. p. 344-376.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. Growth. Evolution and agricultural water use. In: KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego California: Academic Press, 1995. p. 377-404.

LARGERWERFF, J. V.; OGATA, V.; EAGLE, H. E. Control of osmotic pressure of culture solutions with polyethylene glycol. **Science**, v. 133, p. 1486-1487, 1961.

LEVY, D.; COLEMAN, W. K.; VEILLEUX, R. E. Adaptation of water shortage: irrigation management and enhancement of tolerance to drought and salinity. **American Journal of Potato Research**, 2013. Disponível em:

<[https://correio.embrapa.br/service/home/~~/LEVY%20et%20al.%2C%202013.1007\\_s12230-012-9291-y?auth=co&loc=pt\\_BR&id=2601&part=2](https://correio.embrapa.br/service/home/~~/LEVY%20et%20al.%2C%202013.1007_s12230-012-9291-y?auth=co&loc=pt_BR&id=2601&part=2)>.

Acesso em: 10 jan. 2013.

LIU, F.; JENSEN, C. R.; SHAHANZARI, A.; ANDERSEN, M. N.; JACOBSEN, S. E. ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency. **Plant Science**, v. 168, p. 831-836, 2005.

LOBATO, L. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS

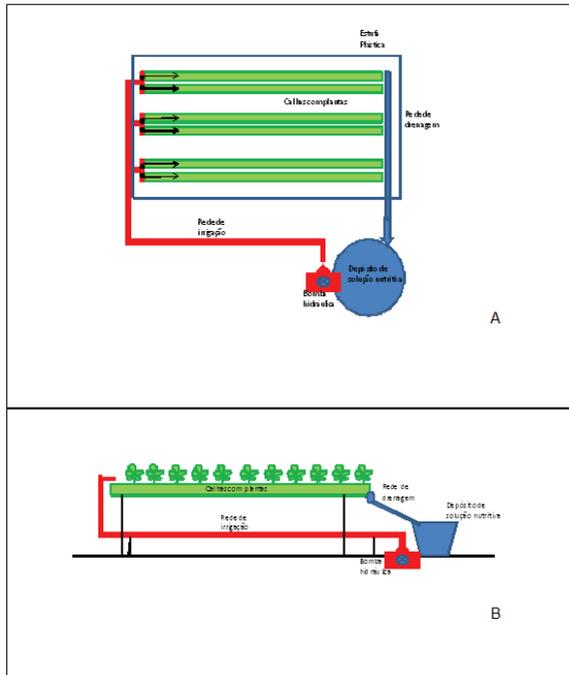
FILHO, B. G.; SILVA, F. K. S.; CRUZ, F. J. R.; ABBAOUD, A. C. S.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Germination of sorghum under the influences of water restriction and temperature. **Agricultural Journal**, v. 3, p. 220-224, 2008.

MEDEIROS, C. A. B.; ZIEMER, A. H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A. S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 110-114, 2002.

MISHRA, B. M.; IANNAcone, R.; PETROZZA, A.; MISHRA, A.; ARMENTANO, N.; LA VECCHIA, G.; TRLÍLEK, M. Engineered drought tolerance in tomato plants is reflect in chlorophyll fluorescence emission. **Plant Science**, v. 182, p. 79-86, 2012.

PARMER, M. J.; MOORE, R. P. Effect of stimulated drought by PEG solution on corn (*Zea mays*, L.) germination and development. **Agronomy Journal**, v. 58, p. 391-392, 1966.

ROHR, A. **Variabilidade genética e tolerância ao déficit hídrico em genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 64 f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.



**Anexo 1.** Esquema de circulação da solução nutritiva, em circuito fechado, do sistema hidropônico usado para produção de tubérculos de batata. A - visto de cima e B - visto lateralmente. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.



**Embrapa**

---

*Clima Temperado*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA