

Condutividade elétrica da solução nutritiva e densidade de plantas na produção de batata-semente em aeroponia em condições tropicais de cultivo (inverno/primavera)

Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring)

Alex Humberto Calori^{1*}, Thiago Leandro Factor², José Carlos Feltran¹, Eduardo Yuji Watanabe³, Carolina Cinto de Moraes¹, Luís Felipe Villani Purquerio¹

1. Instituto Agrônomo - Centro de Horticultura - Campinas (SP), Brasil.

2. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - Polo Regional Nordeste Paulista - Mococa (SP), Brasil.

3. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itararé - Itararé (SP), Brasil.

RESUMO: A produção de batatas-semente de qualidade em sistemas hidropônicos, como a aeroponia, demanda estudos sobre o manejo nutricional e cultural devido à recente introdução no Brasil. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da condutividade elétrica da solução nutritiva e da densidade de plantas sobre a produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia, cultivares Ágata e Asterix, em condições tropicais de cultivo (inverno/primavera), sob ambiente protegido. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcela subdividida, sendo a parcela constituída por 4 condutividades elétricas da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$); a subparcela, por 4 densidades de plantio (25; 44; 66 e 100 plantas $\cdot\text{m}^{-2}$); e a subsubparcela, pelas cultivares de batata (Ágata e Asterix), num total de 4 blocos. As condutividades elétricas da solução nutritiva que proporcionaram a maior produtividade de minitubérculos de batata-semente, independentemente da densidade de plantas, foram as de 2,2 e 2,1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, para as cultivares de batata Ágata e Asterix, respectivamente. Quanto à densidade de plantas, para ambas as cultivares, melhor desempenho produtivo foi obtido na densidade de 100 plantas $\cdot\text{m}^{-2}$.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., ambiente protegido, arranjo espacial, cultivo sem solo, nutrição de plantas, semente básica.

ABSTRACT: The recent introduction in Brazil of production of quality seed potatoes in hydroponic systems, such as aeroponics, demands studies on the nutritional and crop management. Thus, this study evaluated the influence of electrical conductivity of the nutrient solution and plant density on the seed potato minitubers production in aeroponics system. The Agata and Asterix cultivars were produced in a greenhouse under tropical conditions (winter/spring). The experimental design was a randomized block in a split-split plot design. The plot consisted of 4 electrical conductivities of the nutrient solution (1.0; 2.0; 3.0; and 4.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$); the subplot, of 4 plant densities (25; 44; 66, and 100 plants $\cdot\text{m}^{-2}$); and the subsubplot, of the 2 potato cultivars (Ágata and Asterix), totaling 4 blocks. The 2.2 and 2.1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ electrical conductivities yielded the highest productivity of seed potato minitubers, for Ágata and Asterix cultivars, respectively, regardless of plant density. For both cultivars, the highest yield was observed for the 100 plants $\cdot\text{m}^{-2}$ density.

Key words: *Solanum tuberosum* L., greenhouse, pre-basic seed potato, soilless production, spatial arrangement, plant nutrition.

*Autor correspondente: ahcalori@gmail.com

Recebido: 25 Jan. 2016 – Aceito: 28 Mar. 2016

INTRODUÇÃO

Elevadas produtividades de batata (*Solanum tuberosum* L.) no campo começam com a produção e utilização de batata-semente de alta qualidade sanitária. No Brasil, a chave nesse processo é o aumento na taxa de multiplicação e disponibilidade de material propagativo de boa qualidade, o que pode reduzir o custo de produção e aumentar a competitividade frente à batata-semente importada.

Historicamente, o país não é autossuficiente na produção de batata-semente, sendo que boa parte ainda é importada. Em 2014, foram importadas 6.256 toneladas, no valor de US\$ 7.597.751, provenientes da Holanda (60%), Argentina (14%), Canadá (7%), Estados Unidos (6%), Chile (5%) e demais países (8%) (Aliceweb 2015). Além do alto custo e da dependência de material propagativo de outros países, corre-se o risco de introduzir organismos fitopatogênicos exóticos em nosso território. Assim, torna-se imprescindível a busca de estratégias para diminuir a dependência de material importado e aumentar a qualidade da batata-semente básica nacional.

No Brasil, entretanto, a quase totalidade da produção de minitubérculos de batata-semente é realizada com uso de vasos/caixas e plantio em substratos agrícolas, onde são obtidas baixas produtividades, em média 3 a 7 unidades por planta (Daniels et al. 2000). Além da baixa multiplicação, a elevada utilização de mão-de-obra e os problemas fitossanitários da reutilização do substrato são pontos negativos da produção tradicional de minitubérculos de batata-semente.

Recentemente, uma das principais estratégias para a produção de batata-semente é a utilização de sistemas hidropônicos. O sistema *Nutrient Film Technique* (NFT) tem demonstrado excelentes resultados (Boersig e Wagner 1988; Novella et al. 2008; Corrêa et al. 2008), porém Wheeler et al. (1990) descreveram que esse sistema pode promover injúrias na periderme do tubérculo devido à acumulação de sal da solução nutritiva na superfície desse órgão e Tibbitts e Cao (1994) verificaram que o início da tuberização é menor em sistemas com meio sólido em comparação com os porosos.

Em contraste, destaca-se o sistema aeropônico, no qual pode-se alcançar produtividades de até 49 minitubérculos por planta, além da colheita escalonada dos tubérculos, o que facilita a padronização e o planejamento da comercialização (Ritter et al. 2001; Factor et al. 2007; Otazú 2010).

O sistema aeropônico consiste no suprimento adequado, contínuo ou não, de solução nutritiva para as raízes das plantas em pequenas partículas (nebulização), de modo

que as mesmas fiquem suspensas no ar, em meio escuro, sem impedimento para o crescimento (Ritter et al. 2001; Farran e Mingo-Castel 2006; Chiipanthenga et al. 2012). Para a cultura da batata, a facilidade proporcionada pela colheita escalonada permite a coleta dos minitubérculos no tamanho desejado (Ritter et al. 2001). Além disso, a colheita não destrutiva, já realizada desde o início da tuberização, permite que outros estolões reúnam condições para tuberizar, aumentando a taxa de multiplicação por planta em muitas vezes (Lommen e Struik 1992).

Até o momento, o sistema aeropônico está na frente como a técnica mais apropriada para a produção de minitubérculos de batata-semente, sendo as principais desvantagens do sistema a vulnerabilidade a queda de energia (Farran e Mingo-Castel 2006; Chang et al. 2012), o maior custo de investimento (Mateus-Rodriguez et al. 2013) e a falta de informações para adoção e condução do sistema.

No Brasil, pela carência de pesquisas e informações técnicas, há pouquíssimos produtores que adotaram o sistema aeropônico. Os únicos existentes ainda limitam seu sucesso ao processo de tentativa e erro, sem nenhum tipo de respaldo científico.

Assim, vários aspectos dessa técnica ainda precisam ser investigados e aperfeiçoados de maneira a respaldar a adoção por produtores e empresas especializadas na produção de batata-semente do país, dentre os quais, destacam-se: a definição de uma composição ótima da solução nutritiva para diferentes cultivares e estádios de desenvolvimento, a determinação da densidade de cultivo e do número de colheitas e intervalos entre as mesmas, assim como a interação entre esses fatores (Rolot e Seutin 1999; Ritter et al. 2001).

A definição da melhor condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva é fundamental na expressão do potencial de produção de batata-semente. A CE reflete a concentração total de íons na solução nutritiva, sendo que a mesma afeta a absorção de nutrientes, o crescimento da planta, a produtividade e a qualidade dos tubérculos (Chang et al. 2011). A composição ideal de uma solução nutritiva depende não somente das concentrações dos nutrientes, mas também de outros fatores ligados ao cultivo, incluindo o tipo do sistema hidropônico, ambiente, estádio fenológico, espécie vegetal e a cultivar em produção (Furlani et al. 1999).

O estudo sobre a densidade de plantas é imprescindível para alcançar maior produção de minitubérculos de batata-semente em um ciclo de cultivo. Ademais, as cultivares de batata respondem de forma distinta à relação número

→

de minitubérculos e peso, dependendo, principalmente, do arranjo espacial das plantas (Santos e Rodriguez 2008).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da CE da solução nutritiva e densidade de plantas sobre a produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia, para as cultivares Ágata e Asterix, em condições de inverno/primavera e média altitude da região nordeste do Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Devido às condições de clima e altitude, na região nordeste do Estado de São Paulo é possível produzir batata-semente em apenas 2 épocas de cultivo (outono/inverno e inverno/primavera).

Dessa forma, o experimento foi realizado no período de Junho a Setembro de 2014 (inverno/primavera), na segunda época de cultivo, em área experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional Nordeste Paulista, cujas coordenadas geográficas são lat 21°26'52,51"S; long 46°59'07,89"O e altitude média de 665 m, município de Mococa, Estado de São Paulo.

O sistema de aeroponia adotado foi inicialmente descrito por Factor et al. (2007), porém adaptado para condições comerciais de produção, segundo Calori et al. (2014) (Figuras 1,2). O sistema foi instalado no interior de um ambiente protegido (sem controle climático) do tipo arco, com 8,0 × 21,0 m (168,0 m²), 4,0 m de altura de pé-direito e antecâmara de 3 m de aresta, coberto com filme de polietileno

aditivado com 150 µm de espessura e tela antiafídeos nas laterais.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo a parcela (4,4 m²) constituída por 4 CEs da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS·m⁻¹). A subparcela (1,1 m²) foi formada por 4 densidades de plantio (25; 44; 66 e 100 plantas·m⁻²),

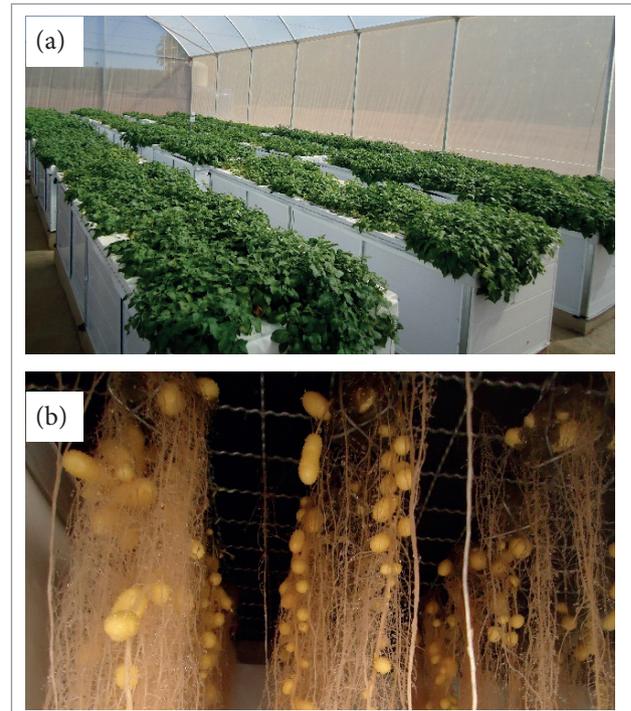


Figura 2. (a) Vista superior das caixas de cultivo com as cultivares Ágata e Asterix em produção; (b) Vista interna das caixas de cultivo, exibindo o sistema radicular e estolões das plantas de batata em plena tuberação.

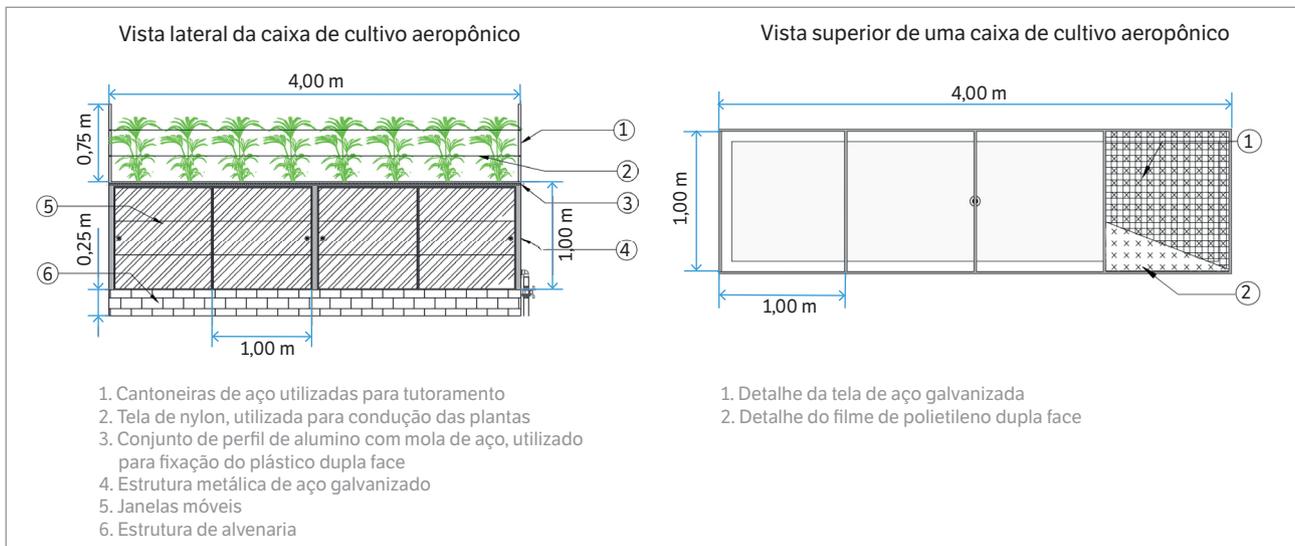


Figura 1. Sistema aeropônico proposto por Calori et al. (2014). Escala 1:1.

compostas pelos espaçamentos entre plantas de $0,2 \times 0,2$; $0,15 \times 0,15$; $0,1 \times 0,15$ e $0,1 \times 0,1$ m. Já a subsubparcela ($0,5 \text{ m}^2$) foi constituída pelas 2 cultivares de batata (Ágata e Asterix), num total de 4 blocos.

Foram utilizadas as cultivares Ágata e Asterix por possuírem formato e coloração da epiderme dos tubérculos distintos, o que facilita a colheita e separação na aeroponia, e por se tratarem dos principais genótipos atualmente cultivados no país para o mercado *in natura* e de batata pré-frita congelada, respectivamente.

A solução nutritiva utilizada foi aquela proposta por Factor et al. (2007) e recomendada para o cultivo de batata em hidroponia, com a seguinte concentração de nutrientes: 145; 29; 40; 295; 162; 40; 64; 2,0; 0,3; 1,0; 0,3; 0,05 e 0,05 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de NO_3^- , NH_4^+ , P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Cu e Mo, respectivamente, e CE de aproximadamente $2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. A partir dessa solução, 3 concentrações adicionais foram preparadas, calculadas por coeficientes de 0,5; 1,5 e 2,0; a partir da solução original, de maneira a obter as diferentes CEs estudadas ($1,0$; $2,0$; $3,0$ e $4,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

A CE foi medida diariamente por meio de um aparelho portátil e digital (modelo Combo HI 98130 – Hanna®) e corrigida quando os valores medidos se situaram acima ou abaixo de $0,1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ do valor inicial. No primeiro caso, a correção foi feita mediante a adição de água e, no segundo, pela adição de um volume complementar de solução nutritiva estoque, com proporção de nutrientes correspondente à solução original. O pH da solução nutritiva foi medido com o mesmo aparelho e mantido no intervalo entre 5,5 e 6,5, mediante adição de ácido sulfúrico 6N ou hidróxido de sódio 1N.

As plântulas das cultivares Ágata e Asterix, provenientes de laboratório de cultura de meristemas (Centro de Horticultura/ Instituto Agronômico), foram transplantadas com idade fenológica de 20 dias após repicagem, altura média de 5,0 cm e aproximadamente 2 folhas. O transplante foi realizado em 25 de Junho de 2014, em espumas fenólicas ($0,05 \times 0,05 \times 0,038 \text{ m}$) e aclimatadas em bancadas do tipo *floating*, cobertas com tela de sombreamento (30%), simulando uma miniestufa agrícola (dimensões de $3,0 \times 3,0 \times 2,0 \text{ m}$), para possibilitar melhor enraizamento das mesmas. O transplante definitivo para o sistema aeropônico foi realizado 15 dias após a colocação das plântulas na espuma fenólica (DAT), sendo a duração total do experimento de 95 DAT.

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foi realizada uma amostragem de folhas (terceira folha) a partir do tufo apical, segundo recomendação de Trani e van Raij (1997), aos 30 DAT. Além do estado nutricional, foram avaliadas

as características de crescimento: (a) altura da planta (ALT) (cm); (b) número de hastes-planta⁻¹ (NH); (c) número de folhas-planta⁻¹ (NF); e de produção de minitubérculos: (d) número de minitubérculos-planta⁻¹ (NMTP); (e) número de minitubérculos- m^{-2} (NMTM2), calculada considerando a área de sistema aeropônico.

As avaliações de crescimento das plantas (a, b, c) foram realizadas até o ápice de desenvolvimento da parte aérea, observado aos 67 DAT. Para avaliação dessas características, foram amostradas 3 plantas de cada subsubparcela, ou seja, de cada tratamento.

As avaliações de produção de minitubérculos (d, e) foram conduzidas a cada 7 dias, a partir do início da tuberização, observado aos 45 DAT. Os dados dessas avaliações correspondem à produção total e real de minitubérculos, e não foram realizadas amostragens. Para a colheita, adotou-se o critério de colher os minitubérculos na faixa de 30 mm de diâmetro transversal, conforme recomendação de Medeiros et al. (2002).

Visando complementar os resultados de produção, foi realizada uma análise de viabilidade econômica, levando-se em consideração as diferentes densidades de planta (25 ; 44 ; 66 e $100 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$) e para ambas as variedades, de acordo com Mateus-Rodriguez et al. (2013).

Foram registrados os valores médios diários de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), por meio de uma miniestação meteorológica (modelo 2470 - Spectrum®). Os sensores foram posicionados no centro da estufa a $1,5 \text{ m}$ de altura no interior do ambiente protegido.

Os resultados foram submetidos a análise de variância e teste F. Não foram observadas interações entre os tratamentos CE, densidade de plantas e cultivares, mas foram observados efeitos isolados de cada um. Assim, estes foram analisados separadamente. O efeito da CE da solução nutritiva foi avaliado por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão (R^2) e o significado biológico. Para os dados de densidade de plantas, utilizou-se o teste de Tukey ($p > 0,05$). O *software* estatístico utilizado para a análise de variância foi o Project R versão 2.15. Na confecção dos gráficos de regressão, utilizou-se o Origin Pro versão 8.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, a temperatura média foi de $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com máxima média de $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e mínima

→

média de 15 °C. A umidade relativa do ar média foi de 52%, com máxima média de 85% e mínima média de 22% (Figura 3). À semelhança de outras regiões do sudeste brasileiro, o inverno/primavera da região nordeste do Estado de São Paulo, no ano de 2014, foi considerado bastante atípico, marcado por temperaturas altas e baixa umidade relativa do ar.

A temperatura máxima média, na maior parte do período experimental, esteve acima de 30 °C. Temperaturas altas reduzem não só a síntese de fotoassimilados e aumentam a

respiração de manutenção, essenciais ao desenvolvimento da planta de batata, como também a sua partição aos tubérculos; como consequência, ocorrem queda de rendimento e redução da matéria seca dos tubérculos. Acima de 30 °C, pode haver completa inibição de fotossíntese líquida (Burton 1972). A cada aumento de 1 °C da temperatura entre 15 e 25 °C, ocorre uma redução média da produtividade de 1%. Além disso, a produtividade dos tubérculos na temperatura de 30 °C é a metade daquela de 20 °C e ainda menor do que a de 10 °C (Bisognin e Streck 2009).

Quanto às características de crescimento de plantas e de produção de minitubérculos, não houve interação significativa entre os fatores. Assim, os resultados estão apresentados e discutidos separadamente.

Condutividade elétrica da solução nutritiva

Para ambas as cultivares de batata, os teores de nutrientes foliares foram significativamente influenciados pela CE da solução nutritiva (Tabela 1). Para a maioria dos nutrientes, o aumento da CE resultou em acréscimo nos teores foliares, a exceção do K, em que ocorreu o inverso. O potássio é um nutriente que atua na regulação osmótica da planta, especialmente como contra íons de ânions inorgânico, como cloro e nitrato (Epstein e Bloom 2006). Assim, o aumento nas doses de nitrogênio pode ter contribuído para a redução nos teores foliares de potássio (Tabela 1), também verificado por Resende et al. (2009). Segundo Savvas e Adamidis (1999), pequenas quantidades de nutrientes geralmente levam a deficiência nutricional, ao passo que grandes quantidades de nutrientes na solução nutritiva podem induzir ao estresse osmótico e à toxicidade de íons.

Apesar da influência da CE da solução nutritiva sobre os teores foliares de nutrientes, verifica-se que os mesmos encontram-se dentro da faixa recomendada por Lorenzi et al.

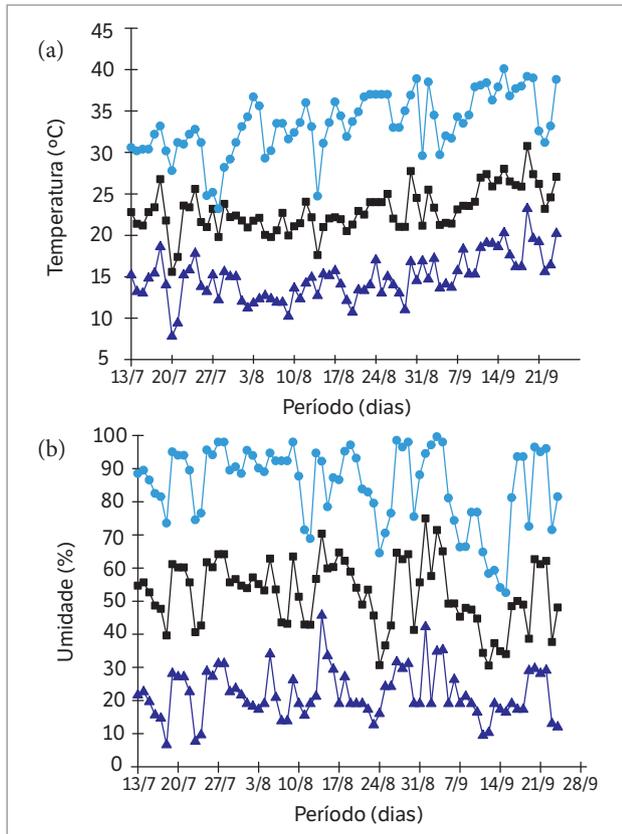


Figura 3. (a) Temperatura (°C); (b) Umidade relativa do ar (%) durante o período experimental (inverno/primavera).

Tabela 1. Teores foliares de macronutrientes para as cultivares de batata Ágata e Asterix, aos 30 DAT, em função da condutividade elétrica da solução nutritiva.

CE (dS·m ⁻¹)	Nutriente											
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	g·kg ⁻¹						g·kg ⁻¹					
	'Ágata'						'Asterix'					
1,0	39	4	54	17	3	3	42	4	46	18	3	5
2,0	46	5	59	15	3	3	49	5	40	17	3	4
3,0	46	5	50	15	3	3	51	5	40	17	3	4
4,0	48	5	47	17	3	6	55	6	37	18	3	7
Teste F CE	**	**	**	*	ns	**	**	**	**	*	ns	**

**Significativo (p < 0,01); *Significativo (p > 0,05); CE = Condutividade elétrica; ns = Não significativo.

(1997), com exceção do enxofre ($6,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), na CE de $4,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para 'Asterix', que apresentou valor superior ao sugerido ($2,5$ a $5,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), e do nitrogênio observado ($39 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) na CE de $1,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para 'Ágata', que ficou abaixo do recomendado pelos mesmos autores ($40 - 50 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Tabela 1), confirmado pela coloração amarelada das folhas mais velhas (clorose) nesse tratamento. O N está diretamente relacionado ao crescimento e desenvolvimento da parte aérea das plantas, ou seja, quando há deficiência desse nutriente, o mais comum a ser observado são folhas de coloração pálida e amarelada (Epstein e Bloom 2006).

No que se refere às características de crescimento, houve efeito significativo da CE para todas as características avaliadas (ALT, NH e NF) e para ambas as cultivares estudadas (Figura 4). Para Ágata, houve acréscimo na ALT com o aumento da CE da solução nutritiva até um máximo de $2,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, sendo o maior valor observado de $42,9 \text{ cm}$ (Figura 2a), com posterior decréscimo, ajustando-se a um modelo polinomial quadrático de regressão. A mesma tendência foi observada para as características NH e NF, sendo os maiores valores verificados de $4,4$ e $41,5 \text{ cm}$, respectivamente, porém ambos na CE de $2,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 4b,c).

Referente a cultivar Asterix, a maior ALT ($40,7 \text{ cm}$) foi verificada na CE de $2,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 4a). Já para as características NH e NF, os valores máximos observados de $2,9$ e $34,6$, respectivamente, foram encontrados na CE de $2,9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figuras 4b,c). Os maiores valores de CEs observados para 'Asterix' podem estar relacionados à maior exigência nutricional em relação a 'Ágata' (Tabela 1), corroborado por Fernandes et al. (2011) em seus estudos de marcha de absorção de nutrientes e ressaltado por Chang et al. (2005) que destaca que a resposta ótima à CE pode diferir entre cultivares.

Por outro lado, o maior desenvolvimento da parte aérea da cultivar Asterix, dado pelo aumento da CE, não necessariamente significou em aumento na taxa de multiplicação de tubérculos, uma vez que os maiores valores observados de $20,4$ para NMTP e $1.014,4$ para NMTM2, foram obtidos em CE de $2,3$ e $2,1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, respectivamente (Figura 5a,b). O contraste entre CE que proporcionou maior crescimento de plantas e produtividade de tubérculos pode estar relacionado ao metabolismo do nitrogênio. Na cultura da batata, vários fatores têm demonstrado efeito na formação do tubérculo, especialmente níveis de nitrogênio, temperatura e luz (Jackson 1999). Em estádios iniciais, o N pode favorecer o desenvolvimento da parte aérea, porém por ocasião da tuberização, se em excesso, pode prejudicar a iniciação e o enchimento dos tubérculos (Oparka et al.

1987; Goins e Yorio 2004). Além disso, elevadas temperaturas como ocorreram no período experimental (Figura 3) podem ter favorecido a maior síntese de giberelina (Figueiredo-Ribeiro et al. 2004), reduzindo a tuberização e o número de tubérculos por planta (Tavares e Lucchesi 1999). O aumento de temperatura do ar é suficiente para modificar a duração das fases de desenvolvimento da batata cultivar Asterix (Streck et al. 2006), assim como sua produtividade.

No tocante à 'Ágata', as maiores médias observadas de $33,0$ para NMTP e 1.723 para NMTM2 foram obtidas na CE de $2,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 5a,b). Novella et al. (2008) também observaram efeito polinomial quadrático ao estudarem diferentes CEs na produção

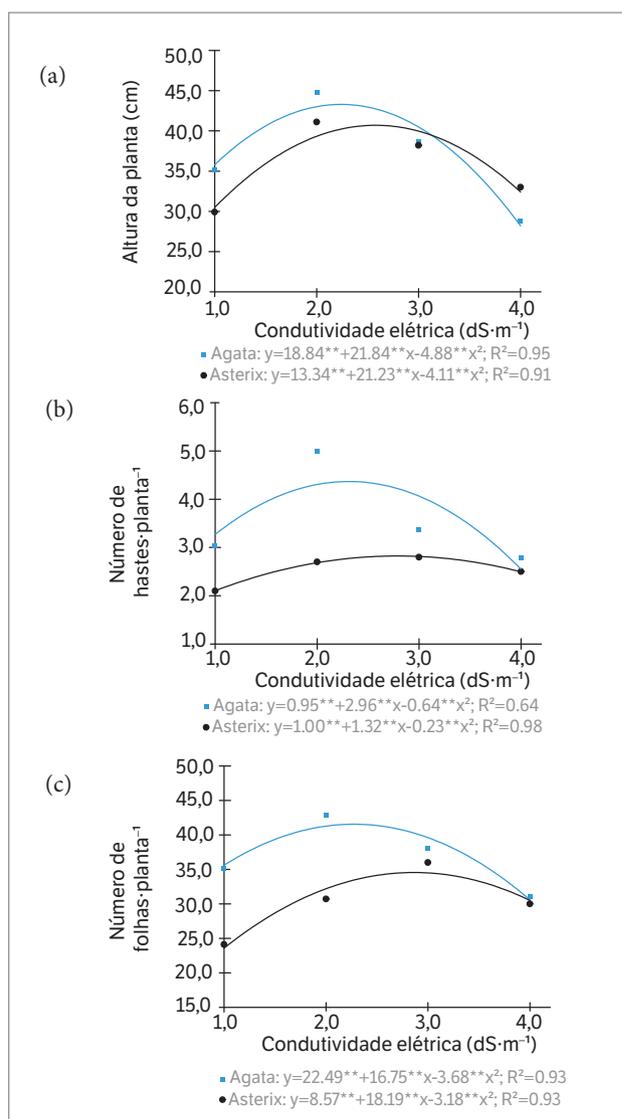


Figura 4. (a) Altura da planta; (b) Número de hastes por planta; (c) Número de folhas por planta em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia.

de minitubérculos de batata-semente, cultivar Macaca, em sistema aeropônico, porém as melhores respostas de produtividade foram obtidas em CE de 2,8 a 3,0 dS·m⁻¹. Por outro lado, Chang et al. (2011) obtiveram melhor resultado em menor valor de CE (1,8 dS·m⁻¹) para cultivar Haryeong, também em aeroponia. Já Müller et al. (2007), em sistema hidropônico utilizando areia como substrato, obtiveram média de 435,0 minitubérculos ·m⁻² em CE de 2,5 dS·m⁻¹, valor mais próximo ao obtido neste trabalho.

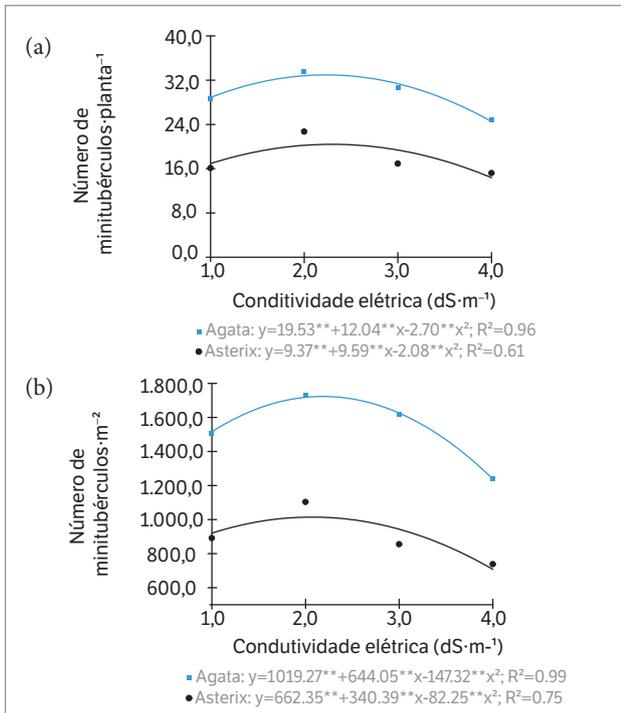


Figura 5. (a) Número de minitubérculo por planta; (b) Número de minitubérculos por m² em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia.

Densidade de plantas

Houve efeito significativo das diferentes densidades de plantas para as características de crescimento de plantas ALT e NF para ‘Ágata’ e NH para ‘Asterix’ (Tabela 2).

Maiores valores de NF foram obtidos nas menores densidades de plantas (25 e 44 plantas·m⁻²) para ‘Ágata’ e os maiores valores de NH também foram observados em menores densidades (25; 44 e 66 plantas·m⁻²) para a cultivar Asterix. Já para ALT de ‘Ágata’, houve efeito inverso; maior altura, de 40,8 cm, foi observada na maior densidade (100 plantas·m⁻²), diferente estatisticamente das demais densidades.

Esse efeito inverso entre ALT × NF e NH pode ser atribuído ao adensamento de cultivo, ou seja, à medida em que se aumenta

a densidade, ocorre maior competição intraespecífica, sobretudo por luz, destinando-se a maior parte dos fotoassimilados para a alongação da haste em detrimento da emissão de folhas (Oliveira 2000). Maior altura de plantas em detrimento do número de folhas em maiores densidades também foi verificada por Dellai et al. (2005) para a cultivar Macaca, porém em condições de cultivo no solo.

Referente às características de produção de minitubérculos, maiores médias de NMTP foram obtidas na menor densidade (25 plantas·m⁻²), tanto para ‘Asterix’ (27) como para ‘Ágata’ (38,3), o que, por sua vez, não diferiu da densidade de 44 plantas·m⁻². Maior número de tubérculos por planta em menores densidades de plantas também foi obtido por Abdullateef et al. (2012) em aeroponia, Santos e Rodriguez (2008) em vasos, Kim et al. (2008) e Corrêa et al. (2007) em caixas contendo substratos.

Os resultados para NMTP obtidos neste trabalho são superiores aos verificados por Tierno et al. (2014), de 12,5 NMTP, para cultivar Monalisa, e inferiores ao observado por Factor et al. (2007), de 40,3 e 46,6 NMTP, para as cultivares Ágata e Asterix, respectivamente, ambos em sistema aeropônico. Vale ressaltar, entretanto, que o sistema aeropônico adotado nesta pesquisa possui dimensões superiores ao protótipo descrito por Factor et al. (2007), ou seja, mais próximo a um sistema comercial e passível de adoção imediata pelo setor produtivo, sem muitas adaptações. Ademais, durante o período experimental, as temperaturas, sobretudo as máximas, estiveram acima da recomendada para a cultura da batata (Figura 2) de acordo com Burton (1972), o que pode ter contribuído para o menor rendimento de minitubérculos de batata-semente obtidos neste trabalho.

Tabela 2. Altura da planta, número de hastes por planta e número de folhas por planta em função da densidade de plantas para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia.

Densidades (plantas·m ⁻²)	Características					
	ALT (cm)	NH	NF	ALT (cm)	NH	NF
	‘Ágata’			‘Asterix’		
100	40,8 a ¹	3,1	30,4 b	35,7	2,0 b	26,0
66	38,2 b	3,1	31,0 b	35,8	2,7 a	29,6
44	35,1 c	3,9	39,1 ab	36,6	2,7 a	32,0
25	33,3 d	4,1	46,7 a	34,1	2,8 a	33,2
Teste F	176,0**	3,9	948,4**	17,4	1,9**	161,9
CV (%)	4,4	33,0	25,5	16,5	21,7	34,7

¹Médias acompanhadas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p > 0,05); **Significativo (p < 0,01). CV = Coeficiente de variação; ALT = Altura da planta; NH = Número de hastes por planta; NF = Número de folhas por planta.

Quanto ao NMTM2, maiores produtividades foram obtidas na maior densidade (100 plantas·m⁻²), tanto para ‘Asterix’ (1.240,4) como para ‘Ágata’ (1.942,5), o que, por sua vez, não diferiu da densidade de 66 plantas·m⁻² (Tabela 3). Embora não significativa, a diferença de 277,4 NMTM2 (66 para 100 plantas·m⁻²) é suficiente para cobrir as despesas e gerar saldo superior em US\$ 8.943,22 (IRM — 25%) para a maior densidade (Tabela 4). Além disso, para ambas as cultivares, a maior densidade de plantas (100 plantas·m⁻²) proporcionou maior taxa interna de retorno (TIR) e menor tempo de recuperação do capital (*payback* simples e descontado), quando comparada com as demais densidades (25; 44 e 66 plantas·m⁻²). Inclusive, para a cultivar Asterix, a maior densidade de plantas foi a única viável do ponto de vista econômico (Tabela 4). É importante ressaltar, no entanto, que os valores econômicos aqui apresentados dizem respeito a somente um ciclo de cultivo. Em condições de altitude superior a 1.000 m e temperaturas amenas, é possível a produção de até 3 ciclos de cultivo por ano, o que certamente contribuiria para a maximização dos retornos econômicos. Os valores financeiros observados para

Tabela 3. Número de minitubérculos por planta e número de minitubérculos por m² em função da densidade de plantas para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia.

Densidades (plantas·m ⁻²)	Características			
	NMTP	NMTM2	NMTP	NMTM2
	‘Ágata’		‘Asterix’	
100	19,3 c	1.942,5 a	12,4c ¹	1.240,4a
66	26,3 b	1.665,1 ab	12,9bc	849,1b
44	33,7 a	1.483,8 b	18,6b	820,6b
25	38,3 a ¹	1.006,5 c	27,0a	675,5b
Teste F	835,1**	1.857.951,9**	20,4**	15,9**
CV (%) ²	14,9	19,8	29,4	23,4

¹Médias acompanhadas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p > 0,05); **Significativo (p < 0,01); *Significativo (p < 0,05). NMTP = Número de minitubérculos por planta; NMTM2 = Número de minitubérculos por m²; CV = Coeficiente de variação;

Tabela 4. Indicadores econômicos em função da densidade de plantas para as cultivares Ágata e Asterix, cultivadas em aeroponia (conteúdo suplementar).

Indicadores econômicos	Densidade de plantas (plantas·m ⁻²)							
	100	66	44	25	100	66	44	25
	‘Ágata’				‘Asterix’			
TIR (%) – 10% a.a.	37	28	24	9	13	2	2	-2
VPL (US\$)	44.588,08	35.644,86	29.765,26	10.373,48	13.658,08	-302,85	548,94	3.943,92
PBS (anos)	1,8	2,1	2,3	3,4	3,1	4,6	4,5	5,3
PBD (anos)	2,5	3,0	3,4	5,1	4,3	6,5	6,3	7,5
IRM (%)	25	20	187	--	4.610	-155	114	--

TIR = Taxa interna de retorno; VPL = Valor presente líquido; PBS = *Payback* simples; PBD = *Payback* descontado a 10% a.a.; IRM = Índice de retorno marginal, calculado com base no VPL; ¹US\$ 1,00 no valor de R\$ 3,89. Cotação realizada em 02/03/2016.

‘Ágata’ na maior densidade de plantas foram semelhantes aos observados no Peru e Equador por Mateus-Rodriguez et al. (2013). De acordo com Karafyllidis et al. (1997), um maior número de minitubérculos e produtividade são esperados em altas densidades em relação às baixas. Porém, o aumento da densidade é benéfico até o momento em que não há competição elevada e prejuízo ao desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, redução da produtividade, fato esse não observado nesta pesquisa.

Os resultados de produtividade obtidos neste trabalho foram superiores aos encontrados por Factor et al. (2007) (874,0 minitubérculos·m⁻²) e Farran e Mingo-Castel (2006) (802,0 minitubérculos·m⁻²) em aeroponia, porém nas densidades de 44 e 60 plantas·m⁻², respectivamente.

CONCLUSÃO

As CEs da solução nutritiva que proporcionaram a maior produtividade de minitubérculos de batata-semente, independentemente da densidade de plantas, foram as de 2,2 e 2,1 dS·m⁻¹, para as cultivares de batata Ágata e Asterix, respectivamente.

Para ambas as cultivares, a densidade que proporcionou a maior produtividade (NMTM2) e viabilidade econômica de produção foi a de 100 plantas·m⁻².

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de doutorado do primeiro autor, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo - 12/50786-8, pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Abdullateef, S., Bohme, M. H. e Pinker, I. (2012). Potato minituber production at different plant densities using an aeroponic system. *Acta Horticulturae*, 927, 429-436. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.53>.
- Análise das Informações de Comércio Exterior (2015). Ministério, Indústria e Comércio Exterior, Secretaria de Comércio Exterior; [acessado 27 Dez. 2015]. <http://aliceweb.mdic.gov.br/>
- Bisognin, D. A. e Streck N. A. (2009). Desenvolvimento e manejo das plantas para alta produtividade e qualidade da batata. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata.
- Boersig, M. R. e Wagner, S. A. (1988). Hydroponic system for production of seed tubers. *American Potato Journal*, 65, 470-471.
- Burton, W. G. (1972). The response of potato plant and tuber to temperature. In A. R. Rees, K. E. Cockshull, D. W. Hand e R. G. Hurd (Eds.), *Crop processes in controlled environments* (p. 217-233). New York: Academic Press.
- Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C. e Purquerio, L. F. V. (2014). Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, 43-51, 64-66.
- Chang, D. C., Cho, I. C., Suh, J. T., Kim, S. J. e Lee, Y. B. (2011). Growth and yield response of three aeroponically grown potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to different electrical conductivities of nutrient solution. *American Journal of Potato Research*, 88, 450-458. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-011-9211-6>.
- Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y. e Lee, Y. B. (2012). Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes. *Potato Research*, 55, 69-81. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-012-9208-7>.
- Chang, D. C., Park, C. S., Lee, J. G., Lee, J. H., Son, J. M. e Lee, Y. B. (2005). Optimizing electrical conductivity and pH of nutrient solution for hydroponic culture of seed potatoes (*Solanum tuberosum*). *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 46, 26-32.
- Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P. e Njoloma, J. (2012). Potential of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tuberosum* L.) seed in developing countries. *African Journal of Biotechnology*, 17, 3993-3999. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB10.1138>.
- Corrêa, R. M., Pereira-Pinto, J. E. B., Pereira-Pinto, C. A. B., Faquin, V., Reis, E. S., Monteiro, A. B. e Dyer, W. E. (2008). A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 17-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.031>.
- Corrêa, R. M., Pereira-Pinto, J. E. B., Reis, E. S., Monteiro, A. B., Pinto, C. A. B. P. e Faquin, V. (2007). Densidade de plantas e métodos de colheita na multiplicação de batata-semente em vasos. *Horticultura Brasileira*, 25, 270-274. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362007000200028>.
- Daniels, J., Pereira, A. S. e Fortes, G. R. L. (2000). Verticalização da produção de batata-semente por produtores de agricultura familiar no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado.
- Dellai, J., Trentin, G., Bisognin, D. A. e Streck, N. A. (2005). Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. *Ciência Rural*, 35, 1269-1274. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000600007>.
- Epstein, E. e Bloom, A. (2006). *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta.
- Factor, T. L., Kawakami, F. P. C. e Lunck, V. (2007) Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. *Horticultura Brasileira*, 25, 82-87. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362007000100016>.
- Farran, I. e Mingo-Castel, A. (2006). Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83, 47-53. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02869609>.
- Fernandes, A. M., Soratto, R. P. e Silva, B. L. (2011). Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – Macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2039-2056.
- Figueiredo-Ribeiro, R. C. L., Chu, E. P. e Almeida, V. P. (2004). Tuberização. In G. B. Kerbauy (Ed.), *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara.
- Furlani, P. R., Silveira, L. C. P., Bolonhezi, D. e Faquin, V. (1999). Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo.
- Goins, G. D. e Yorio, N. C. (2004). Influence of nitrogen nutrition management on biomass partitioning and nitrogen use efficiency indices in hydroponically grown potato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 134-140.
- Jackson, S. D. (1999). Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. *Plant Physiology*, 119, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.119.1.1>.
- Karafyllidis, D. I., Georgakis, D. N., Stavropoulos, N. I., Nianiou, E. X. e Vezyroglou, L. A. (1997). Effect of planting density and size of potato seed-minitubers on their yielding capacity. *Acta Horticulturae*, 462, 943-949. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.462.150>.

- Kim, C. W., Song, C. K., Park, J. S., Mun, H. K., Kang, Y. K. e Kang, B. K. (2008). Effects of medium and planting density on growth and yield of seed potatoes grown in a wick hydroponic system. *Korean Journal of Crop Science*, 53, 251-255.
- Lommen, W. J. M. e Struik, P. C. (1992). Production of potato minitubers by repeated harvesting: plant productivity and initiation, growth and resorption of tubers. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 40, 342-359. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02357598>.
- Lorenzi, J. O., Monteiro, P. A., Miranda Filho, H. S. e van Raij, B. (1997). Raízes e tubérculos. In B. van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani (Eds.), *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. rev. e atual. (p. 221-229). Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC. Boletim 100.
- Mateus-Rodríguez, J. R., Haan, S., Andrade-Piedra, J. L., Maldonado, L., Hareau, G., Barker, I., Chuquillanqui, C., Otazú, V., Frisancho, R., Bastos, C., Pereira, A. S., Medeiros, C. A., Montesdeoca, F. e Benítez, J. (2013). Technical and economic analysis of aeroponics and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. *American Journal of Potato Research*, 90, 357-368. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9312-5>.
- Medeiros, C. A. B., Ziemer, A. H., Daniels, J. e Pereira, A. S. (2002). Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. *Horticultura Brasileira*, 20, 110-114. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362002000100022>.
- Müller, D. R., Bisognin, D. A., Andriolo, J. L., Dellai, J. e Copetti, F. (2007). Produção hidropônica de batata em diferentes concentrações de solução nutritiva e épocas de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 647-653. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000500006>.
- Novella, M. B., Andriolo, J. L., Bisognin, D. A., Cogo, C. M. e Bandinelli, M. G. (2008). Concentration of nutrient solution in the hydroponic production of potato minitubers. *Ciência Rural*, 38, 1529-1533. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000600006>.
- Oliveira, C. A. S. (2000). Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 939-950. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000500011>.
- Oparka, K. J., Davies, H. V. e Prior, D. A. M. (1987). The influence of applied N on export and partitioning of current assimilate by field-grown potato plants. *Annals of Botany*, 59, 484-488.
- Otazú, V. (2010). *Manual on quality seed potato production using aeroponics*. Lima: International Potato Center.
- Resende, G. M., Alvarenga, M. A. R., Yuri, J. E., Souza, R. J., Mota, J. H., Carvalho, J. G. e Rodrigues Júnior, J. C. (2009). Rendimento e teores de macronutrientes em alface tipo americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio em cultivo de verão. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 153-163. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000100022>.
- Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, J., Rellosio, J. e San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44, 127-135. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02410099>.
- Rolot, J. L. e Seutin, H. (1999). Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. *American Journal of Potato Research*, 42, 457-469. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02358162>.
- Santos, B. M. e Rodriguez, P. R. (2008). Optimum in-row distances for potato mini tuber production. *Hortecchnology*, 18, 403-406.
- Savvas, D. e Adamidis, K. (1999). Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition*, 22, 1415-1432. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169909365723>.
- Streck, N. A., Lago, I., Alberto, C. M. e Bisognin, D. A. (2006). Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. *Bragantia*, 65, 693-702. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000400021>.
- Tavares, S. e Lucchesi, A. A. (1999). Reguladores vegetais na batata cv. Monalisa, após a tuberação. *Scientia Agricola*, 56, 975-980. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000400027>.
- Tibbitts, T. W. e Cao, W. (1994). Solid matrix and liquid culture procedures for growth of potatoes. *Advanced Space Research*, 14, 427-433.
- Tierno, R., Carrasco, A., Ritter, E. e Galarreta, J. I. R. (2014). Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *American Journal of Potato Research*, 91, 346-353. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>.
- Trani, P. E. e van Raij, B. (1997). Raízes e tubérculos: composição mineral, amostragem de folhas e diagnose foliar. In B. van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani, (Eds.), *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC. Boletim 100.
- Wheeler, R. M., Mackowiak, C. L., Sager, J. C., Knott, W. M. e Hinkle, C. R. (1990). Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *American Potato Journal*, 67, 177-187. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987070>.