



TESE

**PRODUÇÃO DE MINITUBÉRCULOS DE
BATATA-SEMENTE EM AEROPONIA: MANEJO
NUTRICIONAL E CULTURAL**

ALEX HUMBERTO CALORI

**Campinas, SP
2017**

**INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**PRODUÇÃO DE MINITUBÉRCULOS DE BATATA-
SEMENTE EM AEROPONIA: MANEJO
NUTRICIONAL E CULTURAL**

ALEX HUMBERTO CALORI

**Orientador: Luis Felipe Villani Purquerio
Co-orientador: Thiago Leandro Factor**

Tese submetida como requisito parcial para
obtenção do grau de **Doutor** em Agricultura
Tropical e Subtropical, área de Concentração
em Tecnologia da Produção Agrícola.

Campinas, SP
2017

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agrônômico

C165p Calori, Alex Humberto
Produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia: manejo nutricional e cultural / Alex Humberto Calori. Campinas, 2015. 103 fls.

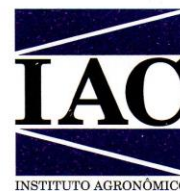
Orientador: Luis Felipe Villani Purquerio
Co-orientador Thiago Leandro Factor
Tese (Doutorado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agrônômico

1Batata-semente 2. Aeroponia 3. Ambiente protegido 4. cultivo sem Solo 5. Hidroponia, 6. Nutrição de plantas 7. Propagação.
I Purquerio, Luis Felipe Villani II. Factor, Thiago Leandro III. Título

CDD. 633.491



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapira, 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(19) 2137-0601
pgiac@iac.sp.gov.br



**Curso de Pós-Graduação
Agricultura Tropical e Subtropical**

Certificado de Aprovação de Defesa de Tese

Título da Tese: "Produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia: manejo nutricional e cultural"

Aluno: Alex Humberto Calori

Área de Concentração: Tecnologia da Produção Agrícola

Processo SAA nº: 15.631

Orientador: Dr. Luis Felipe Villani Purquerio - IAC

Aprovado pela banca examinadora:

Dr. Luis Felipe Villani Purquerio - IAC

Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho - UNESP

Dr. Guilherme Henrique Martins Rodrigues Ribeiro - UFSCar

Dr. Rafael Vasconcelos Ribeiro - UNICAMP

Dr. José Carlos Feltran - IAC

Campinas, 18 de abril de 2017

Visto:

Márcio Koiti Chiba
Coordenador Pós-Graduação
Instituto Agrônomo

DEDICATÓRIA

Ofereço

À mulher da minha vida, Alana da Silva Barbosa Calori, pelo constante incentivo, principalmente nos momentos de indecisões; e à nossa recente descoberta: um bebê! Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena e faria sentido.

Dedico

À minha mãe, Claudete de Fátima Moreira, e minha irmã, Karina Aparecida M. Calori Chagas, que me incentivaram, desde o início, a persistir no caminho do conhecimento, além de me ensinarem valores de imensurável riqueza: união, caráter e honestidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força e esperança em momentos difíceis e, acima de tudo, por me cercar de pessoas pelas quais nutro grande carinho.

À Pós-Graduação do Instituto Agrônomo (PPG-IAC) por conceder a oportunidade de realização do doutorado.

Ao Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Nordeste Paulista, na pessoa do Dr. Paulo Boller Gallo, pela oportunidade de realização dos experimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro, Processo - 12/50786-8.

Ao meu orientador e amigo Dr. Luís Felipe Villani Purquerio, pessoa boníssima, por todo o incentivo e dedicação sem as quais não seria possível a conclusão deste trabalho. Obrigado por tudo.

Ao meu co-orientador e amigo Dr. Thiago Leandro Factor, pessoa essencial na elaboração deste trabalho, pelas suas valiosas contribuições para minha formação pessoal e profissional, ao longo desses oito anos de parceria.

Aos professores que tive a oportunidade de conviver durante a realização do doutorado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 A batata.....	2
2.2 Propagação vegetativa da batata.....	3
2.3 Aeroponia na produção de batata-semente.....	5
2.4 Condutividade elétrica da solução nutritiva	7
2.5 Densidade de plantas	9
2.6 Nitrogênio na cultura da batata.....	10
3 REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO 1	24
Resumo	25
Abstract.....	26
Introdução.....	26
Construção do sistema	27
A. Estrutura de suporte para os módulos de produção	28
B. Módulos de produção.....	28
C. Estrutura de tutoramento e suporte para plantas	31
D. Sistema hidráulico	32
Condução e operação do sistema.....	34
A. Aclimação das plântulas	34
B. Transplante definitivo para os módulos de produção	36
C. Composição e manejo da solução de nutrientes	38
D. Colheita.....	38
Desenvolvimento a ser realizado	39
A. Construção do sistema	40
B. Condução e operação do sistema	41
Agradecimentos.....	41
Referências	42
CAPÍTULO 2	46
Resumo	47
Abstract.....	48
Introdução.....	48
Material e métodos	50
Resultados e discussão.....	54
Conclusão	61
Agradecimentos.....	61
Referências	61
CAPÍTULO 3	67
Resumo	68
Abstract.....	69
Introdução.....	69
Material e métodos	71
Resultados e discussão.....	74

Conclusão	79
Agradecimentos	80
Referências	80
CAPÍTULO 4	86
Resumo	87
Abstract.....	88
Introdução	88
Material e métodos	89
Resultados e discussão.....	92
Conclusão	98
Agradecimentos.....	99
Referências	99

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 –	Teores foliares de macronutrientes para as cultivares de batata Ágata e Asterix, aos 30 DAT, em função da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	55
Tabela 2 –	Altura da planta (ALT), número de hastes planta ⁻¹ (NH) e número de folhas planta ⁻¹ (NF) em função da densidade de plantas para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	58
Tabela 3 –	Número de minitubérculo planta ⁻¹ (NMTP) e número de minitubérculo m ⁻² (NMTM2) em função da densidade de plantas para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	59
Tabela 4 –	Indicadores econômicos em função da densidade de plantas para as cultivares Ágata e Asterix, cultivadas em aeroponia. (Conteúdo suplementar). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	60

CAPÍTULO 3

Tabela 1 –	Valores médios para altura da planta (ALT), número de hastes planta ⁻¹ (NH), número de folhas planta ⁻¹ (NF), número de minitubérculos planta ⁻¹ (NMTP) e número de minitubérculos m ⁻² (NMTM2) em função da densidade de plantas para ‘Ágata’ e ‘Asterix’, cultivadas em sistema aeropônico no outono/inverno. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.....	78
Tabela 2 –	Indicadores econômicos em função da densidade de plantas para as cultivares Ágata e Asterix, cultivadas em aeroponia no outono/inverno. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.....	79

CAPÍTULO 4

Tabela 1 –	Valores de nutrientes utilizados para a composição das soluções nutritivas dos tratamentos utilizados para ‘Ágata’ e ‘Asterix’ cultivadas em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	91
Tabela 2 –	Quadrados médios para massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca da raiz (MSR), teor de nitrato (TN), índice relativo de clorofila (IRC), número de minitubérculos planta ⁻¹ (NMTP), número de minitubérculos m ⁻² (NMTM2) e índice de colheita (IC) para ‘Ágata’ e ‘Asterix’ em função dos dias após transplante (DAT) e da concentração de nitrogênio (CN) da solução nutritiva. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	94

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 – Detalhes da estrutura de suporte (a); do revestimento do reservatório (b); das janelas laterais deslizantes nos módulos de produção (c) da estrutura de tutoramento (d); de uma linha de nebulização no interior do módulo de produção, e do o sistema radicular e estolões em produção (e) e dos reservatórios de solução nutritiva (d). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014..... 29
- Figura 2 – a) vista lateral de uma bancada de cultivo aeropônico: 1) cantoneiras de aço de 0,75m utilizadas para tutoramento; 2) tela de nylon para condução das plantas; 3) perfil de alumínio com mola de aço, utilizado para fixação do plástico dupla face; 4) estrutura metálica de aço galvanizado; 5) janelas deslizantes e 6) estrutura de alvenaria; b) vista superior de uma bancada de cultivo aeropônico: 1) detalhe da tela ondulada de aço galvanizada; 2) detalhe do filme de polietileno dupla face. Escala 1:1. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014. Fonte: Calori et al. 2017..... 30
- Figura 3 – Vista superior de uma bancada de cultivo (a); detalhe ampliado sob a vista superior da estrutura de sustentação das plantas, exibindo o suporte para plantas (b), e vista isométrica, exibindo a tela ondulada, o cubo metálico e a espuma fenólica utilizados no sistema aeropônico (c). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014..... 32
- Figura 4 – Detalhes de um módulo de produção com uma das janelas deslizantes aberta, exibindo o sistema radicular e detalhe das disposições das linhas de nebulizadores a 0,75 m do piso da bancada de cultivo. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil 2014..... 33
- Figura 5 – Detalhe do transplante inicial e aclimação das plântulas. Perfuração da bandeja de espuma fenólica (a), umedecimento para facilitar o transplante (b), plântulas provenientes do laboratório de cultura de tecidos (c), transplante na espuma fenólica (d), colocação de vermiculita (e) e aclimação em berçário com tela de sombreamento e nebulização (f). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014..... 35
- Figura 6 – Detalhe do transplante para as bancadas de cultivo. Plântulas em idade de serem transplantadas (a), perfuração das bancadas de cultivo (b), realização do transplante (c), transplante recém finalizado (d), plantas de batata em pleno desenvolvimento (e) e início da tuberização (f). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014..... 37
- Figura 7 – Detalhes da realização da colheita (a), minitubérculos colhidos e ensacados (c), paisagem (c) e armazenagem dos minitubérculos (d). IAC/APTA, Mococa-SP, 2014. 39

CAPÍTULO 2

- Figura 1 – Sistema aeropônico proposto por Calori et al. (2014); a) Vista lateral da caixa de cultivo aeropônico: 1) cantoneiras de aço utilizadas para tutoramento; 2) tela de nylon utilizada para condução das plantas; 3) conjunto de perfil de alumínio com mola de aço utilizado para fixação do plástico dupla face; 4) estrutura metálica de aço galvanizado; 5) janelas móveis e 6) estrutura de alvenaria. b) Vista superior de uma caixa de cultivo aeropônico: 1) detalhe da tela de aço galvanizado; 2) detalhe do filme de polietileno dupla face. Escala 1:1. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016. 51
- Figura 2 – Vista superior das caixas de cultivo com as cultivares Ágata e Asterix em produção (a) e vista interna das caixas de cultivo, exibindo o sistema radicular e estolões das plantas de batata em plena tuberização (b). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016..... 52
- Figura 3 – Temperatura (°C) (a) e umidade relativa do ar (%) (b) durante o período experimental (inverno/primavera). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016..... 54
- Figura 4 – Altura da planta (a), número de hastes planta⁻¹ (b) e número de folhas planta⁻¹ (c) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016..... 56
- Figura 5 – Número de minitubérculo planta⁻¹ (a) e número de minitubérculo m⁻² (b) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016..... 57

CAPÍTULO 3

- Figura 1 – Vista superior das caixas de cultivo com ‘Ágata’ e ‘Asterix’ em produção (a, b) e vista interior das caixas de cultivo, exibindo as raízes (c, d), os estolões e os tubérculos (d). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015..... 71
- Figura 2 – Ciclo de cultivo para ‘Ágata’ e ‘Asterix’; linhas pontilhadas pretas são marcações da ‘Ágata’ e linhas tracejadas vermelhas são marcações da ‘Asterix’ (a). Temperatura do ar (°C) para o outono/inverno no interior do ambiente protegido. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015..... 74
- Figura 3 – Teores foliares de nutrientes em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para duas cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015..... 75
- Figura 4 – Altura da planta (a), número de folhas planta⁻¹ (b), número de minitubérculos planta⁻¹ (c) e número de minitubérculos m⁻² (d) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015..... 76

CAPÍTULO 4

Figura 1 –	Temperatura diurna (°C) e noturna (°C) durante a realização do experimento com concentrações de N na solução nutritiva. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	93
Figura 2 –	Índice relativo de clorofila (a), número de minitubérculos planta ⁻¹ (b) e número de minitubérculos m ⁻² (c) em função das concentrações de nitrogênio (N) da solução nutritiva para ‘Ágata’ cultivada em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	95
Figura 3 –	Detalhe de uma parcela experimental do tratamento completo em N (141,2 mg L ⁻¹), exibindo o sistema radicular e os estolões ramificados da batata ‘Ágata’ cultivada em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	96
Figura 4 –	Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (a) e índice relativo de clorofila (b) em função dos dias após transplante e das concentrações de nitrogênio (N) da solução nutritiva para ‘Asterix’ cultivada em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	97
Figura 5 –	Teor de nitrato (a) e índice de colheita (b) em função das concentrações de nitrogênio (N) da solução nutritiva para ‘Asterix’ cultivada em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.....	98

Produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia: manejo nutricional e cultural

RESUMO

A aeroponia é um dos principais sistemas utilizados para o aumento na produção de batata-semente de qualidade (livre de doenças) no mundo. Por se tratar de um sistema recente, vários aspectos precisam ser aperfeiçoados, como: a determinação de uma concentração ótima de nutrientes, via ajuste da condutividade elétrica (CE), visando o aumento na tuberização; e a determinação de uma densidade de plantas, com o objetivo de otimizar a produtividade. Assim, os objetivos deste trabalho foram os de i) verificar o efeito da CE da solução nutritiva e da densidade de plantas sobre a produção de duas cultivares de batata, em duas épocas de cultivo: inverno/primavera (Experimento 1) e outono/inverno (Experimento 2); e ii) verificar o efeito da concentração de N na solução nutritiva, visando a redução no seu fornecimento, sobre a produção de duas cultivares de batata, no outono/inverno (Experimento 3). Nos experimentos 1 e 2, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Em cada parcela foi disposta uma das CE's estudadas (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹); na subparcela foram dispostas as densidades de planta (25, 44, 66 e 100 plantas m⁻²) para as batatas 'Ágata' e 'Asterix'. No experimento com redução de N (Experimento 3), o delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas. A parcela foi composta pelo ciclo de cultivo (47, 62, 77 e 92 dias após o transplante) e a sub-parcela foi composta pelas concentrações de N (141,2; 106,2; 71,2 e 36,2 mg L⁻¹) para as batatas 'Ágata' e 'Asterix', num total de quatro blocos. No experimento 1, as CE's que proporcionaram as maiores produtividades foram as de 2,2 dS m⁻¹ ('Ágata') e 2,1 dS m⁻¹ ('Asterix'). Para o experimento 2, a melhor CE foi a de 2,1 dS m⁻¹ ('Ágata') e para 'Asterix', a melhor CE foi de 1,7 dS m⁻¹. Em ambos experimentos (1 e 2), a densidade de 100 plantas m⁻² foi a que resultou na maior produtividade e viabilidade econômica. No experimento 3, para 'Ágata', a redução de N não afetou o acúmulo de biomassa pela planta, mas aumentou a produção de minitubérculos em 17% com concentração de N de 73,3 mg L⁻¹ em relação a solução de 141,2 mg L⁻¹ (completa em N). Para 'Asterix', a redução de N afetou o acúmulo de biomassa pela planta, porém não influenciou a produção de minitubérculos.

Palavras-Chave: *Solanum tuberosum* L., ambiente protegido, cultivo sem solo, hidroponia, nutrição de plantas, propagação.

Seed potato production in aeroponia system: nutritional and cultural management

ABSTRACT

The aeroponic system is one of main techniques used to improve the seed potato production on world. For being a recent technique, some challenges need to overcome, as: the determination of an optimal nutrient concentration; the nitrogen (N) management of nutrient solution, with focus on rise the tuberization; and the determination of a plant density, aiming high yields. Thus, the objectives of this work were i) verify the effect of electrical conductivity (EC) of nutrient solution and plant density on production of two potatoes (Agata and Asterix) cultivars in two growing seasons: winter/spring (Trial 1) and fall/winter (Trial 2) and ii) verify the effect of nitrogen concentrations of nutrient solution, with target on reduction of supply, on production of two potatoes cultivars in fall/winter (Trial 3). In trial 1 and 2, the experimental design was a randomized block in a split-plot design and four repetitions. The plots were the ECs (1.0, 2.0, 3.0 and 4.0 dS m⁻¹) and de sub-plots were the plant density (25, 44, 66 and 100 plants m⁻²), for potatoes ‘Agata’ and ‘Asterix’. In trial 3, the experimental design was a randomized block in a split-plot design. The growing cycle assessment (47, 62, 77 and 92 days after transplant) were placed in each plot and the N concentrations (141.2, 106.2, 71.2 and 36.2 mg L⁻¹) were set on sub-plot for ‘Agata’ and ‘Asterix’, making a total of four blocks. In trial 1, the higher minitubers yields were obtained with EC of 2.2 dS m⁻¹ (‘Agata’) and 2.1 dS m⁻¹ (‘Asterix’). For trial 2, the best EC was 2.1 dS m⁻¹ (‘Agata’) and for ‘Asterix’ the best EC was 1.7 dS m⁻¹. For both growing seasons (1 and 2), the plant density of 100 plants m⁻² promoted the higher values of production and economic feasibility. In trial 3, for ‘Agata’, the N reduction did not affect the biomass accumulation by plants, but enhanced the minitubers production in 17% in N concentration of 73.3 mg L⁻¹ when compared to control treatment (141.2 mg L⁻¹, full in N). For ‘Asterix’, the N reduction affect the biomass accumulation by plants, but did not change the minituber production.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., greenhouse, hydroponic, plant nutrition, propagation, soilless grow.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A batata-semente (*Solanum tuberosum* L.) é um dos insumos produtivos mais importantes na cadeia produtiva da batata. A sustentabilidade dessa cadeia está condicionada, essencialmente, a disponibilidade regular de material propagativo de elevada qualidade fitossanitária (livre de doenças). Em países desenvolvidos, a falta de batata-semente não é mais um problema. Porém, em países em desenvolvimento, como no Brasil, a ausência de material de propagação é uma dificuldade recorrente, o que leva os produtores a realizarem importações.

Para estimular a produção interna de batata-semente, novos sistemas produtivos precisam ser introduzidos. Tradicionalmente, a maior parte do material de propagação produzido no Brasil é obtida em sistemas produtivos a base de substrato, com a utilização de vasos e caixas plásticas. Esses sistemas apresentam baixas produtividades (< 10 minitubérculos planta⁻¹) quando comparadas com os sistemas hidropônicos (> 72 minitubérculos planta⁻¹). Entre os sistemas hidropônicos passíveis de serem utilizados no Brasil para a produção de batata-semente, estão: o *Deep Flow Technique* (DFT), o *Nutrient Film Technique* (NFT) e, mais recentemente, o sistema aeropônico.

A aeroponia se destaca dos demais sistemas hidropônicos por permitir elevada taxa de multiplicação e produtividade. Entretanto, a técnica tem como desvantagens o alto custo de investimento, a demanda de mão de obra qualificada e o risco de perdas em caso de queda de energia elétrica, quando não há mecanismos de proteção (geradores). Soma-se à essas desvantagens, a falta de conhecimento técnico para implantação e condução desse sistema, com destaque para o manejo nutricional e cultural da batata nesse ambiente de cultivo.

No aspecto nutricional, o estudo da concentração de nutrientes da solução nutritiva, ajustada via condutividade elétrica (CE), é um importante começo para o cultivo de batata em hidroponia. Sabe-se que, além das cultivares, as épocas de cultivo também podem determinar a concentração ótima da solução de nutrientes que irá promover o desenvolvimento vegetativo e estimular a produção de minitubérculos. Além da CE, recentemente, atenção tem sido dada ao manejo do nitrogênio (N) na solução nutritiva, com interrupção ou diminuição do seu fornecimento. É bem estabelecido que o excesso de N pode prejudicar a tuberização da batata, sendo que o baixo suprimento também é prejudicial, podendo reduzir a produtividade da cultura. Por último, no tocante ao manejo cultural, a determinação de uma densidade de plantas para otimização da produtividade também se constitui estratégia indispensável, especialmente para o sistema aeropônico que apresenta elevado custo de investimento em comparação aos demais sistemas produtivos.

Assim, mediante essas necessidades, os objetivos deste trabalho foram os de: i) verificar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹) e da densidade de plantas (25, 44, 66 e 100 plantas m⁻²) sobre a produção de duas cultivares de batata (Agata e Asterix), em duas épocas de cultivo (inverno/primavera - 2014 e outono/inverno - 2015) e ii) verificar o efeito da concentração de nitrogênio na solução nutritiva, visando a redução no seu fornecimento (141,2; 106,2; 71,2 e 36,2 mg L⁻¹), sobre a produção de duas cultivares de batata (Agata e Asterix), no outono/inverno (2016), em sistema aeropônico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A batata

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das culturas alimentícias mais importantes no mundo, sendo a quarta em volume de produção (FaoStat 2015). É produzida em mais de 149 países, de latitudes 65°N a 50°S e altitudes do nível do mar até 4.000 m de altura (Hijmans 2001). Apresenta elevada eficiência, produzindo mais matéria seca, proteína e minerais por unidade de área em comparação com os cereais (Ezekiel et al. 2013). Por esses motivos, o tubérculo é considerado um alimento estratégico para a humanidade, tendo importante papel na erradicação da pobreza e fome no mundo por gerar emprego e renda no campo, além de ser um alimento rico nutricionalmente para o consumo (Bradshaw e Merideth 2010).

O tubérculo, além de importante fonte de carboidratos (energia), também fornece fósforo, potássio, cálcio, magnésio, vitaminas do complexo B e C, proteínas, fibra alimentar e outros nutrientes, como ferro e zinco. Nos tubérculos, uma pequena, mas significativa quantidade de amido é resistente à digestão pelas enzimas presentes no estômago e no intestino delgado, atingindo o intestino grosso essencialmente intacto. Esse amido tem os mesmos efeitos fisiológicos e benefícios para a saúde do que a fibra: oferece proteção contra câncer de colo, aumenta a tolerância a glicose e a sensibilidade a insulina, aumenta a saciedade e, possivelmente, reduz o acúmulo de gordura pelo corpo (Bradshaw e Merideth 2010). A batata apresenta ainda alto valor biológico, baixo teor de lipídeos e ausência de colesterol que a torna um alimento completo para a dieta. Deficiências nutricionais não são conhecidas em países cuja população tem em sua base alimentar a batata (McCay e Smith 1987). Por essas razões, o tubérculo é consumido por mais de um bilhão de pessoas (Pereira et al. 2005), além de importante cultura com potencial para a manutenção da vida no espaço (Wheeler 2006).

Além do consumo *in natura*, a batata apresenta grande versatilidade quando processada, podendo ser industrializada na forma de palitos congelados, chips, fécula, farinhas, entre outros. Os produtos industrializados comestíveis têm aumentado o valor comercial da batata consideravelmente, além de se destacarem pela textura, aparência e, acima de tudo, pela conveniência e praticidade (Kirkman 2007).

Contudo, para assegurar a batata como importante alimento na dieta de centenas de milhões de pessoas, especialmente em países em desenvolvimento, a produção precisa ser otimizada. Uma das formas de otimizar a produção, e talvez a mais importante, é o uso de batata-semente de elevada qualidade fitossanitária (livre de doenças). O emprego de material propagativo de qualidade reconhecida é um dos principais fatores responsáveis pela manutenção de altas produtividades no campo (Calori et al. 2014, Chindi et al. 2014). Em países desenvolvidos, a produção é garantida pelos consideráveis estoques de batata-semente de elevado padrão sanitário (Thomas-Sharma et al. 2016). Porém, em países em desenvolvimento, como no Brasil, a realidade é outra, sendo os estoques insuficientes, inclusive, para atender às áreas de cultivo (Tierno et al. 2014)

2.2 Propagação vegetativa da batata

No Brasil, o mercado de batata-semente é pouco aproveitado pelos produtores internos de semente. No ano de 2016 foram importadas cerca de 7,8 mil toneladas de batata para semeadura com um valor, aproximado, de 9,1 milhões de dólares (AliceWeb 2016). Os motivos para a importação são dos mais diversos, mas o principal deles refere-se ao baixo fornecimento no mercado interno de material propagativo de qualidade fitossanitária elevada.

O processo de obtenção de batata-semente de qualidade é difícil e demorado. Talvez, por esses motivos, tão pouco adotado e disseminado no cenário nacional. Tradicionalmente, o processo de propagação começa em laboratórios de culturas de tecido (*in vitro*). Nessas instalações são obtidas as plântulas, ou micros tubérculos (Ritter et al. 2001), ou brotos (Souza-Dias 2006), que consistirão da primeira geração *ex vitro* (Muro et al. 1997). Posteriormente, em ambiente protegido, a primeira geração pode ser cultivada nos mais diversos sistemas produtivos, incluindo: canteiros suspensos (Wiersema et al. 1987), vasos com substrato (Muro et al. 1997), ou em hidroponia (Ritter et al. 2001). Após essa etapa, onde o volume de material multiplicado é relativamente grande, o material obtido (minitubérculos) é destinado para produção em campo. Nas áreas de cultivo em campo são obtidas as sementes

certificadas e registradas, que serão utilizadas pelos produtores na produção comercial para o cultivo da batata (consumo), a qual será destinada ao mercado consumidor final.

A batata-semente, por ser propagada vegetativamente em gerações sucessivas, está sujeita ao acúmulo de um grande número de doenças, responsável pela degenerescência do material ao longo dos anos (Buckseth et al. 2016). Isso significa que, ao longo dos cultivos sucessivos, a batata acumula patógenos que reduzem a produtividade da cultura em níveis consideráveis. Em condições tropicais e subtropicais de cultivo, a situação é ainda mais preocupante. Nessas regiões, as altas temperaturas e umidades relativas do ar favorecem o aumento da população de insetos, que são importantes vetores de doenças. Dentre os principais insetos estão o tripses (*Thrips palmi*), a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e o pulgão (*Macrosiphum euphorbiae*) que espalham doenças pela cultura, especialmente viroses (Rolot e Seutin, 1999), como potato virus X (PVX), potato virus Y (PVY), potato virus S (PVS) e potato leaf roll virus (PLRV). Por esses motivos, o material propagativo precisa ser “renovado” periodicamente.

O processo de renovação, como citado, inicia-se no laboratório e tem seu maior desfecho na multiplicação em ambiente protegido. De acordo com a instrução normativa (IN 32) de 20 de novembro de 2012, a multiplicação em ambiente protegido é caracterizada pelo cultivo em condições de controle dos fatores de produção, como o da água, dos nutrientes, das condições ambientais, das pragas e seus vetores, além do isolamento do solo. No Brasil, grande parte da batata-semente é produzida em ambientes protegidos com o uso de substrato.

Nos sistemas de produção com uso de substrato são utilizados como recipientes vasos, ou caixas plásticas, onde são obtidas taxas de multiplicação na ordem 3 a 7 unidades por planta (Daniels et al. 2000) e raramente excedem a taxa de 10 unidades por planta (Medeiros et al. 2002). Esses valores são considerados baixos, quando comparados com as taxas obtidas em sistemas hidropônicos, que podem chegar a 72 minitubérculos por planta (Mateus-Rodríguez et al. 2012); além disso, os sistemas hidropônicos são tecnologias recentes que vêm apresentando grande avanço para a produção de batata-semente de alta qualidade sanitária nos últimos anos (Rolot e Seutin 1999, Medeiros et al. 2002, Farran e Mingo-Castel 2006, Factor et al. 2007, Corrêa et al. 2008, Chang et al. 2012).

Entre os sistemas hidropônicos passíveis de serem utilizados no Brasil para a produção de batata-semente existem: o *Deep Flow Technique* (DFT) (Medeiros et al. 2002), o *Nutrient Film Technique* (NFT) (Corrêa et al. 2009) e o sistema aeropônico (Factor et al. 2007). O sistema DFT apresenta potencial, visto a elevada taxa de multiplicação de tubérculos (42 tubérculos por planta) (Factor et al. 2007) e a possibilidade de utilização como método de estabelecimento de material propagativo (Piao et al. 2004, Kang et al. 2006); porém, alguns

autores reportaram que a tuberização da batata nesse sistema só ocorre quando as caixas de cultivo se tornam preenchidas com raízes e estolões (Wan et al. 1994). O sistema NFT também tem sido amplamente estudado (Rolot e Seutin 1999, Rolot et al. 2002, Medeiros et al. 2002, Factor et al. 2007, Corrêa et al. 2008); contudo, pode apresentar desvantagens no que se refere às injúrias na periderme do tubérculo, ocasionadas pelo acúmulo de sal da solução nutritiva (Wheeler et al. 1990), além de apresentar menor produção por área em comparação com os outros sistemas, como o DFT e aeroponia (Factor et al. 2007). Por último, a aeroponia se destaca por permitir elevada taxa de multiplicação e produtividade (Factor et al. 2007, Chang et al. 2012), sendo uma técnica de produção com grande potencial de utilização no Brasil (Calori et al. 2014); entretanto, tem como desvantagens o elevado investimento, a demanda de mão de obra qualificada e o risco de perdas de produção em caso de queda de energia elétrica (Mateus-Rodríguez et al. 2013), quando o sistema não possui mecanismos de proteção, como geradores elétricos.

2.3 Aeroponia na produção de batata-semente

Os cultivos sem solos podem ser classificados em dois grupos: “abertos” e “fechados”. Convencionalmente, o primeiro termo refere-se aos sistemas em que não há o reaproveitamento da solução nutritiva, e o segundo diz respeito aos sistemas em que há o reaproveitamento da solução de nutrientes (Hussain et al. 2014). Nesses sistemas, as plantas podem ser sustentadas em substratos artificiais inertes (meio sólido ou poroso), ou colocadas diretamente na solução nutritiva (meio líquido) (Pardossi et al. 2006). Em meio líquido, os cultivos são frequentemente tratados como hidropônicos, sendo os mais conhecidos o NFT, DFT e aeropônico, já mencionados anteriormente.

A característica principal do sistema aeropônico é a de fornecer solução nutritiva às raízes das plantas por nebulização de pequenas gotículas (5 a 100 μm). Na aeroponia não há o uso de solo, sendo que as plantas ficam suspensas no ar, em um ambiente escuro. A ausência de luz é importante para favorecer o crescimento das raízes, evitar o aparecimento de algas e impedir que os estolões produzam folhas, ao invés de tubérculos (Ritter et al. 2001, Farran e Mingo-Castel 2006, Factor et al. 2007, Hussain et al. 2014). Como vantagem geral, por não haver nenhum tipo de impedimento físico para o sistema radicular, as raízes na aeroponia recebem 100% do oxigênio disponível, o que favorece o seu desenvolvimento e a produtividade das culturas (Prastowo et al. 2007, Buckseth et al. 2016). Por essas razões, um considerável contingente de culturas tem sido produzido e estudado usando os sistemas

aeropônicos, com bons resultados produtivos observados para tomate (Komosa et al. 2014), alface, pepino, morango (Massantini 1977, Giacomelli 1989, Repetto et al. 1994), couve-chinesa (Prastowo et al. 2007), plantas aromáticas e medicinais (Christie e Nichols 2004, Hayden 2006) e a batata-semente (Buckseth et al. 2016; Calori et al. 2017).

Para a produção de batata-semente, a aeroponia apresenta especial vantagem: o fácil acesso ao sistema radicular, estolões e tubérculos. A acessibilidade permite a realização de colheitas não destrutivas e escalonadas; ou seja, a colheita pode ser realizada ao longo do ciclo da cultura, o que favorece o planejamento da colheita e da comercialização (Ritter et al. 2001). Além disso, a colheita realizada desde o início da tuberização permite que outros estolões reúnam condições para tuberizar, aumentando a taxa de multiplicação por planta e, consequentemente, a produtividade (Lommen e Struik 1992, Lommen 2007).

O primeiro cultivo de batata-semente em aeroponia que se tem registro ocorreu no final da década de 80 por Boersig e Wagner (1988). O objetivo desses autores foi o de permitir um espaço amplo para o crescimento dos tubérculos, em um ambiente de cultivo regularmente nebulizado com solução nutritiva. Os autores obtiveram tubérculos de tamanho comercial, com produtividades na ordem de 2,2 e 5,6 kg m⁻² para ‘Atlantic’ e ‘Shepody’, respectivamente. Um pouco mais adiante, no início da década de 90, Tibbitts e Cao (1994) reportaram baixa tuberização em sistema aeropônico, caracterizando este sistema como não adequado para a produção de batata. Os mesmos autores destacaram ser necessário a aplicação de um estresse severo para que ocorra a tuberização.

Assim, como forma de superar a baixa tuberização em solução nutritiva, as pesquisas com aeroponia começaram ativamente no final da década de 90 com desafios voltados à aplicação de estresses visando o aumento da tuberização. As condições de estresses empregadas, até então, foram: interrupção no fluxo da solução nutritiva (Chang et al. 2008); redução do fornecimento de N (Kang et al. 1996, Chang et al. 2016) ou interrupção do fornecimento de N (Oraby et al. 2015) na solução de nutrientes; diminuição do pH (Wan et al. 1994) e da temperatura na zona radicular (Chang et al. 2006).

Apesar de 20 anos de pesquisas, o montante de resultados e informações ainda é pequeno. Muitos trabalhos ainda necessitam ser conduzidos para a determinação de fatores básicos de cultivo, dentre eles os relacionados ao manejo nutricional e cultural. Em termos nutricionais, o manejo da solução de nutrientes, via modificação da condutividade elétrica (CE), é uma técnica bastante utilizada em hidroponia para o cultivo de hortaliças (Furlani et al. 1999, Calori et al. 2014, Calori et al. 2015) e tem apresentado resultados distintos para o cultivo de batata-semente em aeroponia (Chang et al. 2011). Ademais, sabe-se que a época de cultivo

(Müller et al. 2007) e as cultivares (Cho et al. 2011) são variáveis que podem influenciar na determinação da melhor CE de cultivo (Chang et al. 2011). Além da CE, a redução do fornecimento de N também tem se apresentado como estratégia bastante recente e com potencial para o aumento da tuberização em hidroponia (Chang et al. 2016). Com relação ao manejo cultural, a determinação da densidade populacional também se constitui estratégia essencial (Farran e Mingo-Castel 2006, Abdullateef et al. 2012), especialmente para o sistema aeropônico onde o investimento é elevado (Mateus-Rodríguez et al. 2013), necessitando que a produção por unidade de área seja otimizada.

2.4 Condutividade elétrica da solução nutritiva

A CE determina a disponibilidade de nutrientes e a absorção de água pelas plantas (Costa et al. 2001), o que altera o crescimento e a partição dos assimilados (Beltrão et al. 1997). A disponibilidade de nutrientes afeta, entre outros fatores, a abertura estomática, o que influencia a eficiência fotossintética, a expansão das folhas, o crescimento radicular e o índice de colheita (Costa et al. 2001). Segundo Savvas e Adamidis (1999), grandes quantidades de nutrientes na solução nutritiva induzem a estresse osmótico, toxicidade de íons e falta de balanço nutricional. Em contrapartida, pequenas quantidades de nutrientes, geralmente, levam à deficiência nutricional. O excesso e o baixo suprimento nutricional causam danos no desenvolvimento vegetal, o que leva a determinação de uma quantidade (concentração) ótima de nutrientes que deve ser disponibilizada às plantas.

A composição ideal de uma solução nutritiva depende da interação entre os nutrientes, que, convencionalmente, é dividida em três categorias: competição inibitória, antagonismo e sinergismo. A competição inibitória ocorre entre íons de cargas e tamanhos similares, como $K^+ \cdot NH_4^+$ e $NO_3^- \cdot Cl^-$, que competem pelos mesmos mecanismos de absorção ou “transportadores”. A interação antagonista é similar a competição inibitória, porém os íons podem ser diferentes em termos de cargas, como K^+ e Mg^{2+} . Por último, o sinergismo refere-se ao aumento da absorção de um nutriente em resposta à absorção de outro íon, principalmente para manter a eletro neutralidade dentro da planta (Westermann 2008). No entanto, na composição da solução de nutrientes, vários outros fatores devem ser levados em consideração, como os ligados ao cultivo: o tipo do sistema hidropônico, o tipo ambiente, o estágio fenológico da cultura, a espécie vegetal e a cultivar utilizadas (Furlani et al. 1999). Nesse sentido, existem diversas soluções nutritivas para o cultivo de plantas. Para as hortaliças, a maioria das soluções existentes foi derivada de Hoagland e Arnon, elaborada em 1938, com as seguintes quantidades

de nutrientes: 210,0 (N-NO₃⁻); 31,0 (P); 234,0 (K); 160,0 (Ca); 48,0 (Mg); 64,0 (S); 0,5 (B); 0,02 (Cu); 1,0 (Fe); 0,5 (Mn); 0,01 (Mo) e 0,05 (Zn) mg L⁻¹ (Resh 1996).

Na produção de batata-semente em hidroponia no Brasil, Corrêa et al. (2009) citam duas soluções, propostas por Factor (2007): 145 (N-NO₃⁻); 29 (NH₄⁺); 40 (P); 295 (K); 162 (Ca); 40 (Mg); 64 (S); 0,3 (B); 0,05 (Cu); 2,0 (Fe); 1,0 (Mn); 0,05 (Mo) e 0,3 (Zn) mg L⁻¹ e Corrêa et al. (2005): 160 (N-NO₃⁻); 12 (NH₄⁺); 42 (P); 239 (K); 152 (Ca); 11,2 (Mg); 40 (S); 0,8 (B); 0,24 (Cu); 1,68 (Fe); 1,28 (Mn); 0,032 (Mo) e 0,6 (Zn), ambas adaptadas de Medeiros et al. (2002) e Rolot e Seutin (1999), com condutividades elétricas ao redor de 2,0 dS m⁻¹.

O manejo da CE é ferramenta importante e deve ser empregado em função das condições ambientais do meio de cultivo. Em condições de alta demanda evaporativa (alta radiação solar e/ou alta temperatura) a concentração de nutrientes na solução pode ser menor. A menor CE é empregada para evitar o estresse osmótico e facilitar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Stanghellini 1995). De outro modo, quando a demanda evaporativa da atmosfera é baixa, é recomendado o uso de solução com maior concentração de nutrientes. No entanto, as maiores CE's não podem ser tão concentradas ao ponto de bloquear o fluxo de água nas plantas. Um balanço precisa ser determinado. Assim, a composição da solução nutritiva deve ser ajustada às diferentes épocas do ano (Duarte 2006).

Ao cultivar batata em duas épocas do ano (outono e primavera), Müller et al. (2007) verificaram respostas distintas das plantas às concentrações da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 dS m⁻¹). No outono, os autores verificaram resposta linear inversa com o aumento da CE da solução nutritiva, ou seja, houve aumento da massa de matéria fresca dos tubérculos, porém diminuição no número total de tubérculos. Já no cultivo de primavera foi observada resposta quadrática para a massa de matéria fresca do tubérculo, com valor máximo estimado em 3,9 g na CE de 1,7 dS m⁻¹; no entanto, o número de tubérculos aumentou, diferentemente do outono, seguindo modelo linear, com o valor máximo de 435 tubérculos por m² na CE de 2,5 dS m⁻¹. Em outras condições, em estudos na região Sul do Brasil, Coelho (2007) verificou que o aumento da concentração da solução nutritiva não aumentou a produtividade e não alterou a relação entre tubérculos e parte aérea. Como conclusão, o autor destacou que baixas CE's da solução nutritiva (1,0 dS m⁻¹) podem ser utilizadas.

Como apresentado, a resposta da planta à CE da solução nutritiva pode ser diferente entre as safras de cultivo. Além disso, sabe-se que as cultivares também respondem de forma distinta à concentração de nutrientes do meio. Geralmente, cultivares precoces apresentam maior resposta à nutrição nas etapas iniciais de cultivo (crescimento

vegetativo), conquanto cultivares de ciclos maiores não são tão responsivas à maior quantidade de nutrientes no curto tempo. Em sistema aeropônico, Chang et al. (2011) mostraram ser possível cultivar as batatas ‘Superior’ e ‘Jayoung’ em uma faixa de CE de 0,6 a 2,4 dS m⁻¹ sem efeito sobre o número de minitubérculos por planta; porém, para a cultivar Haryeong, essa apresentou maior número de minitubérculos na CE de 1,8 dS m⁻¹.

Esses trabalhos sugerem que a melhor CE da solução nutritiva depende da época de cultivo e, especialmente, das cultivares (Chang et al. 2005). Assim, adequadas CE's necessitam ser determinadas em função das épocas do ano, bem como para as cultivares que são utilizadas comercialmente no Brasil.

2.5 Densidade de plantas

A produção de biomassa de uma cultura é função da interação do genótipo das plantas com as condições ambientais. Entre as condições do meio que afetam a produção, pode-se destacar a disponibilidade de nutrientes (como N, P e K) e de água (por chuva ou irrigação), bem como a população de plantas (Oveman e Scholtz 2011). Vários trabalhos têm sido conduzidos para determinação da densidade de plantas para o cultivo de milho (Cox 1997) (*Zea mays* L.), soja (Weber 1965) (*Glycine max* L.), batata (Wurr et al. 1993), entre outras culturas.

A densidade de plantas é estratégia importante para aumentar a produtividade. Ela pode afetar a produtividade através da interceptação da radiação solar. Em condições de maior adensamento, a energia solar que incide na área é mais aproveitada, uma vez que há mais plantas por unidade de área. Porém, o excesso de plantas pode promover efeito de sombreamento, estabelecendo uma condição de competição entre as plantas. A resposta das plantas, depois de iniciada a competição, é condicionada a vários fatores como: espécies, cultivares, doses de nutrientes, irrigação e esquema de plantio (Mondim 1988). Por essas razões, a densidade de plantas precisa ser corretamente determinada para cada tipo de cultivo. A determinação da densidade de plantas pode ser realizada por três critérios básicos: espaçamento entre fileiras, espaçamento entre plantas e o número de plantas por cova, ou orifício, no caso de hidroponia.

Para o cultivo de batata-semente em sistemas hidropônicos, vários autores têm reportado efeito da densidade de plantio na produtividade, como Muro et al. (1997) que observaram maior produtividade nas maiores densidade de plantas (5, 10 e 15 plantas/pote); Medeiros et al. (2002) que verificaram menor número de minitubérculos por planta, porém maior produção por área; Farran e Mingo-Castel (2006) que avaliaram duas densidades de plantas (60 e 100 plantas m⁻²) e verificaram maior produtividade no maior adensamento; Abdullateef et al. (2012) que

obtiveram maior número de tubérculos por planta, quando utilizou-se a menor densidade (25 plantas por m²); e Masengesho et al. (2012) que não verificaram efeito algum da densidade de plantas (14, 17 e 21 plantas m⁻²) sobre a produção das batatas ‘Kinigi’ e ‘Kigega’.

Esses estudos sugerem haver diferenças significativas na produção em função da densidade de plantas e das cultivares utilizadas. Conforme destaca Otazú (2010) e Cho et al. (2011) cultivares respondem diferentemente ao sistema aeropônico, sendo necessário a determinação de adequadas populações de plantas. Para as condições nacionais não existe essa informação. Além disso, o sistema aeropônico apresenta alto custo de investimento em relação aos outros sistemas hidropônicos (Mateus-Rodríguez et al. 2013), podendo ser superior em cerca de 1,5 e 2,1 vezes aos sistemas NFT e DFT, respectivamente (Factor 2007). Por esse motivo, é necessário o máximo aproveitamento possível da área de produção no sistema aeropônico, o que pode ser conseguido via adensamento de plantas.

2.6 Nitrogênio na cultura da batata

Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) destaca-se pelas modificações morfofisiológicas promovidas nos vegetais. Quantitativamente é um dos mais importante para o desenvolvimento das plantas, sendo esse nutriente um dos mais presente na massa de matéria seca (Engels e Marschener 1995). Consequentemente, a disponibilidade deste nutriente pode limitar a produtividade das plantas em ecossistemas naturais e agrícolas (Epstein e Bloom 2006).

Uma vez que o N se encontra associado a vários componentes celulares, como aminoácidos e ácidos nucléicos, o sintoma mais característico da sua deficiência é a redução na taxa de crescimento. Dessa maneira, o primeiro sintoma a se manifestar nas plantas é a clorose das folhas mais velhas, devido a translocação do N nelas contido para as folhas mais novas para que ocorra a manutenção dos pontos de crescimento (Taiz et al. 2015).

Por outro lado, o excesso de N também pode ser prejudicial à planta. O excessivo suprimento causa crescimento demasiado da parte aérea em relação ao sistema radicular, deixando a planta mais suscetível a deficiência de nutrientes, principalmente fósforo e potássio. Com o excessivo desenvolvimento foliar, o efeito positivo do N na fotossíntese diminui pelo autossombreamento. O aumento do sombreamento pode gerar alterações nas condições microclimáticas, potencializando a incidência de infecções por fungos e outras doenças.

Para a produção de minitubérculos de batata-semente, independente de qual seja o sistema produtivo (solo, substrato ou hidroponia), o manejo adequado do suprimento de N é

fundamental (Souza 2009). De acordo com Wu et al. (2007), o adequado suprimento de N é essencial para a otimização da produção e qualidade dos tubérculos de batata.

O N disponível nos diferentes estádios de desenvolvimento possui grande efeito sobre a produtividade pelo envolvimento direto desse nutriente na diferenciação e crescimento dos tubérculos (Medeiros e Cunha 2003a). Pequenas doses de N podem reduzir o desenvolvimento da parte aérea e, conseqüentemente, ocasionar baixas produtividades e redução do tamanho dos minitubérculos. Em contrapartida, o excesso de N pode atrasar o processo de tuberização, reduzindo a translocação de carbono para os tubérculos e aumentando o fluxo para as folhas novas, hastes e estolões (Oparka et al. 1987). Ainda, de acordo com Beukema e Zaag (1990), os efeitos deletérios do manejo inadequado do N podem ser mais pronunciados em condições de elevada temperatura e disponibilidade de água – condições que normalmente predominam em cultivos hidropônicos em ambiente protegido no Brasil.

Na literatura, existem informações sobre doses de N para a produção de batata em condições de cultivo no solo (Cardoso et al. 2007, Coelho et al. 2010) e para a produção de minitubérculos em substrato (Fontes et al. 2008, Sampaio Júnior et al. 2008, Moreira et al. 2011, Souza et al. 2012). No entanto, para o sistema aeropônico, não foram encontradas informações na literatura nacional, apenas informações para o sistema hidropônico do tipo NFT (Souza et al. 2013, Medeiros e Cunha 2003b). Souza et al. (2013) avaliaram concentrações de N (45, 90, 180, 270 mg L⁻¹) na produção de batata-semente e obtiveram valor aproximado de 14 tubérculos por planta em solução nutritiva com 188,9 mg L⁻¹ de N. Já Medeiros e Cunha (2003b) obtiveram aproximadamente 74 tubérculos por planta em solução nutritiva com 172 mg L⁻¹ de N, porém utilizando minitubérculos como material propagativo. Ao utilizarem plântulas, os mesmos autores observaram um número de tubérculos por planta de 35, em solução com 120 mg L⁻¹ de N. Os trabalhos mencionados demonstram a importância do manejo de N na produção de batata-semente.

Além da dose ideal de N para o todo o ciclo de cultivo, uma nova estratégia de manejo tem sido empregada em cultivos hidropônicos: a redução ou interrupção do fornecimento de N em um dado momento do ciclo de cultivo. Em teoria, a estratégia de redução do fornecimento de N após suficiente crescimento da parte aérea (Chang et al. 2008) é para não comprometer o desenvolvimento vegetativo da cultura. No estádio em que a planta está com a parte aérea plenamente desenvolvida, o menor suprimento de N pode não prejudicar o crescimento da planta e, ao mesmo tempo, promover o aumento da tuberização por dois motivos: via efeito do N sobre a translocação de fotoassimilados (Krauss 1985, Oparka et al. 1987) ou efeito do N sobre a razão (ácido abscísico/giberelina) (ABA/GA). No primeiro caso, a diminuição de N

favorece a translocação de carbono para os tubérculos em detrimento do crescimento de folhas, estolões e hastes. No segundo caso, a menor quantidade de N aumenta a razão ABA/GA, o que promove a tuberização (Krauss e Marschner 1982). É importante destacar que o controle da tuberização, via nutrição com N, só é possível quando não há limitações de fotoperíodo e temperatura durante o ciclo de cultivo (Krauss 1985), o que demonstra o papel do N como fator assessorio no controle da tuberização.

Recentemente, alguns trabalhos foram publicados com interrupção do fornecimento de N (Oraby et al. 2015) e redução do fornecimento de N (Chang et al. 2016) para o cultivo de batata-semente em aeroponia com constatação de resultados promissores, como rápida tuberização (< 25 DAT) e aumento na taxa de multiplicação por planta. No entanto, essas informações necessitam ser complementadas, especialmente para cultivares de ciclo diferente. É sabido que as cultivares apresentam padrão distintos de absorção de N. Essa afirmação traz a ideia de que as cultivares podem apresentar respostas distintas quanto a magnitude da redução de N na solução nutritiva. Dessa forma, existe a necessidade de mais estudos que avaliem o efeito da redução deste nutriente sobre a tuberização das plantas de batata.

3 REFERÊNCIAS

Abdullateef, S., Bohme, M. H., & 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>.

AliceWeb – Análise das Informações de Comércio Exterior (2016). Ministério, Indústria e Comércio Exterior, Secretaria de Comércio Exterior. <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em 23 mar. 2017.

Beltrão, J., Trindade, D., & Correia, P. J. (1997). Lettuce yield response to salinity of sprinkle irrigation water. *Acta Horticulturae*, 449, 623-628. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.86>.

Beukema, H. P., & Zaag, D. E. (1990). Introduction to potato production. Wageningen: Pudoc

.

Boersig, M. R., & Wagner, S. A. (1988). Hydroponic system for production of seed Tubers. *American Potato Journal*, 65, 470–471.

Bradshaw, J. E., & Bonierbale, M. (2010). Potatoes. In J. E. Bradshaw (Ed.), *Root and Tuber Crops* (p. 1-52). New York: Springer-Verlag.

Buckseth, T., Sharman, A. K., Pandey, K. K., Singh, B. P., & Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics - A review. *Scientia Horticulturae*, 204, 79–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.041>.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., & Purquerio, L. F. V. (2014a). Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata-semente no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, 64-66, 43-51.

Calori, A. H., Factor, T. L., Júnior, S. L., Moraes, L. A. S., Barbosa, P. J. R., Tivelli, S. W., & Purquerio, L. F. V. (2014b). Condutividade elétrica da solução nutritiva e espaçamento entre plantas na produção de beterraba e alface. *Horticultura Brasileira*, 32, 426-433. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620140000400009>.

Calori, A. H., Moraes, L. A. S., Purquerio, L. F. V., Factor, T. L., Júnior, S. L., & Tivelli, S. W. (2015). Electric conductivity and space between plants on baby leaf production in NFT hydroponic system inside greenhouse. *Acta Horticulturae*, 1107, 303-310. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1107.42>.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Morais, C. C., & Purquerio, L. F. V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*, 76, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.022>.

Cardoso, A. D., Alvarenga, M. A. R., Melo, T. L., & Viana, A. E. S. (2007). Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 1729-1736.

Chang, D. C., Park, C. S., Lee, J. G., Lee, J. J., Son, J. M., & Lee, Y. B. (2005). Optimizing electrical conductivity and pH of nutrient solution for hydroponic culture of seed potatoes (*Solanum tuberosum*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 46, 26–32.

Chang, D. C., Jeong, J. C., & Lee, Y. B. (2006). Effect of root zone cooling on growth responses and tuberization of hydroponically grown “Superior” potato (*Solanum tuberosum*) in summer. *Journal of Bio-Environment Control*, 15, 340–345.

Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y., Kim, S. J., & Lee, Y. B. (2008). Physiological growth responses by nutrient interruption in aeroponically grown potatoes. *American Journal of Potato Research*, 85, 315–323. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9510-z>.

Chang, D. C., Cho, I. C., Suh, J. T., Kim, S. J., & 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. & 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., Jin, Y. I., Kim, S. J., Park, S. T., Cho, Y. R., & Lee, Y. B. (2016). Nutritional and Structural Response of Potato Plants to Reduced Nitrogen Supply in Nutrient Solution. *American Journal of Potato Research*, 93, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9510-z>.

Chindi, A., Gebremedhin, W. G., Solomon, A., Tessama, L., & Negash, K. (2014). Rapid Multiplication Techniques (RMTs): A Tool for the Production of Quality Seed Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Ethiopia. *Asian Journal of Crop Science*, 6, 176-185. <http://dx.doi.org/10.3923/ajcs.2014.176.185>.

Cho, I., Chang, D., Kim, H., & Cho, H. (2011). Basic seed production using aeroponic system in double cropping. *J. Plant Biotechnol.*, 38, 49–53. <http://dx.doi.org/10.5010/JPB.2011.38.1.049>.

Christie, C. B., & Nichols, M. A. (2004). Aeroponics – a production system and research tool. *South Pacific Soilless Culture Conference. Acta Hort.*, 648, 185–190. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.22>.

Coelho, M. B. N. (2007). Controle do crescimento e desenvolvimento da batata-semente através da condutividade elétrica da solução nutritiva. 60f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria.

Coelho, F. S., Fontes, P. C. R., Puiatti, M., Neves, J. C. L., & Silva, M. C. C. (2010). Doses de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 1175-1183. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400017>.

Corrêa, R. M., Pereira-Pinto, J. E. B., Pereira-Pinto, C. A. B., Faquin, V., Reis, E. S., Monteiro, A. B., & Dyer, W. E. (2008). A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. *Sci. Hort.*, 116, 17-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.031>.

Corrêa, R. M., Pinto, J. E. B. P., Faquin, V., Pinto, C. A. B. P., & Reis, E. S. (2009). The production of seed potatoes by hydroponic methods in Brazil. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 3, 133-139.

Costa, P. C., Didone, E. B., Sesso, T. M., Cañizares, K. A. L., & Goto, R. (2001). Condutividade elétrica de solução nutritiva de alface em hidroponia. *Scientia Agricola*, 58, 595-597.

Cox, W. J. (1997). Corn silage and grain yield responses to plant densities. *Journal Production Agriculture*, 10, 405–410. <https://dx.doi.org/10.2134/jpa1997.0405>.

Daniels, J., Pereira, A. S. & 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.

Duarte, T. S. (2006). Crescimento do meloeiro cultivado em substrato de casca de arroz com solução recirculante. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas.

Engels, C., & Marschener, H. (1995). Plant uptake and utilization of nitrogen. In E. P., Bacon, Nitrogen fertilization in the environment (p. 41-71). New York: Marcel Dekker.

Epstein, E., & Bloom, A. (2006). Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta.

Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato - a review. Food Research International, 50, 487-496.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.025>.

Factor, T. L. (2007). Produção de minitubérculos de batata-semente em sistemas hidropônicos NFT, DFT e Aeroponia. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’ - UNESP: FCAV, Jaboticabal.

Factor, T. L., Kawakami, F. P. C. & Iunck, 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>.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). Statistical Pocketbook, World Food and Agriculture. FAO Statistic Division. Rome, Italy.
<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>. Acesso em 18 mar. 2016.

Farran, I., & 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>.

Fontes, P. C. R., Sampaio Júnior, J. D., Moreira, M. A., Guimarães, M. A., Puiatti, M., & Lani, E. R. G. (2008). Produção de mini-tubérculos de batata-semente em função de doses de nitrogênio aplicadas ao substrato. Horticultura Brasileira, 26, 116-120.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362008000100023>.

Furlani, P. R., Silveira, L. C. P., Bolonhezi, D., & Faquin, V. (1999). Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico (Boletim técnico, 180).

Giacomelli, G. A. (1989). Fog for aeroponic plant production. Soil. Cult., 1, 13–22.

Hayden, A. L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome and root crops. HortScience., 41, 536–538.

Hijmans, R. J. (2001). Global distribution of the potato crop. Am. J. Potato Res., 78, 403–412. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02896371>.

Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Ahato, P., & Negi, A. K. (2014). A review on the science of growing crops without soil (soiless culture) – a novel alternative for growing crops. IJACS, 7, 833-842. <http://dx.doi.org/IJACS/2014/7-11/833-842>.

Instrução Normativa 32 – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2016). Instrução Normativa MAPA 32/2012. <http://www.apassul.com.br/upload/legislacao/instrucao%20normativa%20n%2032%20de%2020%20de%20novembro%20de%202012.pdf>. Acesso em 23 mar. 2017.

Kang, J. G., Yang, S. Y., & Kim, S. Y. (1996). Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. Journal of the Korean Society for Horticultural Science, 37, 761-766.

Kang, H. S., Hyun, K. H., Lee, H. G., & Kang, Y. K. (2006). Effects of transplant raising method on growth and tuber yield of potato grown in aeroponics system. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 24, 32-36.

Kirkman, M. A. (2007). Global markets for processed potato products. In: Vreugdenhil D (ed.), Potato biology and biotechnology advances and perspectives (p. 27-44). Oxford: Elsevier.

Komosa, A., Kleiber, T., & Markiewicz, B. (2014). The effect of nutrient solutions on yield and macronutrient status of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in aeroponic and rock wool culture with or without recirculation of nutrient solution. Acta Scientiarum Polonorum, 13, 163-177.

Krauss, A., & Marschner, H. (1982). Influence of nitrogen nutrition, daylength and temperature on contents of gibberellic and abscisic acid and on tuberization in potato plants. Potato Res., 25, 13-21, 1982. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02357269>.

- Krauss, A. (1985). Interaction of nitrogen nutrition, phytohormones, and tuberization. In Li, P. H (ed.), *Potato physiology* (p. 209-224). London: Academic Press.
- Lommen, W. J. M. & 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>.
- Lommen, W. J. M. (2007). The canon of potato science: 27. Hydroponics. *Potato Research*, 50, 315-318. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-008-9053-x>.
- Masengesho, J., Nshimiyimana, J. C., Senkesha, N., & Sallah, P. Y. K. (2012). Performance of Irish potato varieties under aeroponic conditions in Rwanda. *Rwanda Journal*, 28, 84-94, 2012. <http://dx.doi.org/10.4314/rj.v28i1.7>.
- Massantini, F. (1985). The light and dark sides of aeroponics. *Soil. Cult.*, 1, 85–96.
- Mateus-Rodríguez, J., Haan, S., Barker, I., Chuquillanqui, C., & Rodríguez-Delfín, A. (2012). Response of Three Potato Cultivars Grown in a Novel Aeroponics System for Mini-Tuber Seed Production. *Acta Horticulturae*, 947. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.46>.
- 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., & Benítez, J. (2013). Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America. *American Journal of the Potato Research*, 90, 357-368. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9312-5>.
- McCay, C. M., McCay, J. B., & Smith, O. (1987). The nutritive value of potatoes. In W. F. Talburt, & O. Smith (Eds.), *Potato processing* (p. 287–332). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Medeiros, C. A. B., Ziemer, A. H., Daniels, J. & 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>.

Medeiros, C. A. B., & Cunha, B. P. (2003a). Diferenciação de tubérculos de batata em função da concentração e nitrogênio na solução nutritiva. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 44, 2003, Mato Grosso do Sul. Anais...Brasília: Horticultura Brasileira, Brasília.

Medeiros, C. A. B., & Cunha, B. P. (2003b). Cultivo hidropônico de sementes pré-básicas de batata: concentração de nitrogênio na solução nutritiva. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 43, 2003, Recife. Anais...Brasília: Horticultura Brasileira, Brasília.

Mondim, M. (1998). Influência de espaçamentos, métodos de plantio e de sementes nuas e peletizadas na produção de duas cultivares de alface. 52 f. Dissertação (Mestrado em Fototecnia) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras.

Moreira, M. A., Fontes, P. C. R., Cecon, P. R., & Araújo, R. F. (2011). Seleção de índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio de batata-semente básica. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33, 335-340. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.5724>.

Müller, D. R., Bisognin, D. A., Andriolo, J. L., Dellai, J., & Copetti, F. (2007). Produção hidropônica de batata em diferentes concentrações de solução nutritiva e épocas de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 647-653.

Muro, J., Díaz, V., Goni, J. L., & Lamsfus, C. (1997). Comparison of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *Potato Research*, 40, 431-438. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02358003>.

Oparka, K. J., Davies, H. V., & 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.

Oraby, H., Lachance, A., & Desjardins, Y. (2015). A low nutrient solution temperature and the application of stress treatments increase potato mini-tubers production in an aeroponic system. *American Journal of Potato Research*, 92, 387-397. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-015-9444-x>.

Otaquí, V. (2010). Manual on Quality Seed Potato Production using Aeroponics. Lima: Peru.

Overman, A. R., & Scholtz, R. V. (2011). Model of Yield Response of Corn to Plant Population and Absorption of Solar Energy. PLoS One, 6, e16117. <https://dx.doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0016117>.

Pardossi, A., Malorgio, F., Incrocci, L., Carmassi, G., Maggini, R., Massa, D., & Tognoni, F. (2006). Simplified Models for the Water Relations of Soilless Cultures: what they do or Suggest for Sustainable Water Use in Intensive Horticulture. Acta Horticulturae, 718. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.718.49>.

Pereira, E. M. S., Queiroz Luz, J. M., & Moura, C. C. (2005). A batata e seus benefícios nutricionais. Uberlândia: EDUFU.

Piao, X., Chakrabarty, D., Hahn, E., & Paek, K. Y. (2004). The growth and photosynthetic characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets as affected by hydroponic solution pH and EC, light, and CO₂, Journal of the American Society for Horticulture Science, 129, 100-1005.

Prastowo, P., Hardjoamidjojo, S., & Laelasari, N. (2007). Irrigation efficiency and uniformity of aeroponics system a case study in parung hydroponics farm. Jurnal Keteknikan Pertanian, 21, 127-134. <http://dx.doi.org/10.19028/jtep.21.2.127-133>.

Repetto, O. A., Cadinu, M., & Leoni, S. (1994). The effect of plant position on root development and vegetative growth in aeroponic lettuce. Acta Hort., 361, 603–611. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.361.67>.

Resh, H. M. (1996). Hydroponic Food Production. California: Woodbridge Press Publishing Company.

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, J., Relloso, J. & 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., & Seutin, H. (1999). Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. Potato Research, 42, 457–469. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02358162>.

Rolot, J. L., Seutin, H., & Michelante, D. (2002). Production de minitubercules de pomme de terre par hydroponie: évaluation d'un système combinant les techniques "NFT" et "Gravel Culture" pour deux types de solution nutritives. *Biotechnological Agronomy Society Enviroment*, 6, 155-161.

Sampaio Júnior, J. D., Fontes, P. C. R., Moreira, M. A., & Guimarães, M. A. (2008). Produção de mini-tubérculo semente de batata, em função de doses de nitrogênio aplicadas ao substrato. *Biosci. J.*, 24, 1- 9.

Savvas, D., & 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>.

Souza, C. B. S. (2009). Produção de minitubérculos de batata-semente básica em vaso e hidroponia, em função de doses de nitrogênio. 88f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa.

Souza, C. B. S., Fontes, P. C. R., Moreira, M. A., Puiatti, M., Martinez, H. E. P., & Araújo, R. F. (2012). Production of basic potato seed minitubers in substrate and different nitrogen rates. *Rev. Ceres*, 59, 850-858. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600016>.

Souza, C. B. S., Fontes, P. C. R., Moreira, M. A., Cecon, P. R., & Puiatti, M. (2013). Produção de minitubérculos de batata-semente básica em hidroponia em função de doses de nitrogênio. *Revista Ciência Agronômica*, 44, 714-723. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400007>.

Souza-Dias, J. A. C. (2006). Tecnologia do Broto/Batata-semente: uma ideia que está brotando na bataticultura. *O Agrário*, 7.

Stanghellini, C., & Jon, G. T. (1995). A modal humidity and its applications in a greenhouse. *Agric. Forest. Meteorol.*, 76, 129-148. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02220-R](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923(95)02220-R).

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy A. (2015). *Plant physiology and development*. Sunderland: Sinauer.

Thomas-Sharma, S., Abdurahman, A., Ali, S., Andrade-Piedra, J. L., Bao, S., Charkowski, A. O., Crook, D., Karina, M. Kromann, O., Struik, P. C., Torrance, L., Garrett, K. A., & Forbes, G. A. (2016). Seed degeneration in potato: the need for an integrated seed health strategy to mitigate the problem in developing countries. *Plant Pathology*, 65, 3-16. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12439>.

Tibbitts, T. W., & 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. & Galarreta, J. I. R. (2014). Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *American Journal Potato Research*, 91, 346-353. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>.

Wan, W. Y., Cao, W., & Tibbitts, T. W. (1994). Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. *HortScience*, 29, 621–623.

Weber, C. R., Shibles, R. M., & Byth, D. E. (1965). Effect of Plant Population and Row Spacing on Soybean Development and Production. *ACESSES*, 58, 99-102. <https://doi.org/10.2134/agronj1966.00021962005800010034x>.

Westermann, D. T. (2008). Nutritional requirements of potatoes. *American Journal of Potato Research*, 82, 301-307. <https://doi.org/10.1007/BF02871960>.

Wheeler, R. M., Mackowiak, C. L., Sager, J. C., Knott, W. M. & Hinkle, C. R. (1990). Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *American Journal Potato Research*, 67, 177-187. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987070>.

Wheeler, R. M. (2006). Potato and human exploration of space: some observations from NASA-sponsored controlled environment studies. *Potato Research*, 49, 67-90. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-006-9003-4>.

Wiersema, S. G., Cabello, R., Tovar, P., & Dodds, J. H. (1987). Rapid seed multiplication by planting into beds micro tubers and in vitro plants. *Potato Research*, 30, 117-120. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02357690>.

Wu, J., Wang, D., Rosen, C. J., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. *Field Crops Research*, 101, 96-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2006.09.014>.

Wurr, D. C. E., Fellows, J. R., & Allen, E. J. (1993). An approach to determining optimum tuber planting densities in early potato varieties. *Journal of Agricultural Science*, 120, 63–70. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073597>.

CAPÍTULO 1

Sistema aeropônico para a produção de batata-semente em larga escala: descrição e procedimentos operacionais

Sistema aeropônico para a produção de batata-semente em larga escala: descrição e procedimentos operacionais

Alex Humberto Calori¹, Thiago Leandro Factor², José Carlos Feltran¹, Eduardo Yuji Watanabe³, Luís Felipe Villani Purquerio¹

¹Instituto Agronômico, Centro de Horticultura, Campinas-SP, ahcalori@gmail.com, feltran@iac.sp.gov.br, felipe@iac.sp.gov.br; ²Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Nordeste Paulista, Mococa-SP, factor@apta.sp.gov.br; ³APTA, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itararé-SP, yuji@apta.sp.gov.br.

Resumo

Na produção da batata, dentre os insumos de importância, se destaca a batata-semente. Essa, como regra geral, deve possuir estoques em quantidade e qualidade fitossanitária (livre de doenças) para sustentar a produção no campo. Os atributos de qualidade fitossanitária e a quantidade podem ser facilmente alcançados com o uso da técnica aeropônica. Pelo seu caráter recente, a técnica carece de maiores informações e apresenta alguns desafios que ainda necessitam ser superados. Assim, com o intuito de preencher a falta de informações e apontar os desafios a serem superados, este trabalho teve por objetivo descrever um sistema aeropônico comercial para a produção de batata-semente em larga escala e levantar os problemas encontrados ao longo do caminho.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., cultivo sem solo, dimensionamento, manejo de cultura, método de cultivo, minitubérculos de batata.

Improving aeroponic system for seed potato production in large-scale: a system description and operational proceeds

Abstract

Potato production demands, among other factors, the usage of high quality (disease-free) and amount of seed potato minitubers to sustain the field production. High quality and quantity are factors easily obtained with the aeroponic technique. For being a technique recent in development for seed potato, the aeroponic system presents: a lack of information and some challenges that needs to be overcome. Thus, looking for fill those gaps of knowledge and bring luster to some doubts, this work had objectives of describe our experience with aeroponic production of seed potato in large-scale, and rise the problems found on the way.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., crop management, growth method, potato minitubers, soilless cultivation, scaling.

Introdução

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a quarta cultura alimentícia em volume de produção no mundo (FaoStat 2015). Sua importância deve-se, essencialmente, às suas qualidades nutricionais. O tubérculo é rico em energia (carboidratos), além ser importante fonte proteínas e de sais minerais. Deficiências nutricionais raramente são encontradas em países cuja a base alimentar é a batata (McCay e Smith 1987).

Na sua produção, dentre os insumos de importância, se destaca a batata-semente. Essa, como regra geral, deve possuir duas características: estoques em quantidade e qualidade (ausência de doenças) para sustentabilidade da cadeia produtiva (Thomas-Sharma et al. 2016). Recentemente, na sua produção, essas características têm sido alcançadas com o uso de alta tecnologia, como observado nos sistemas hidropônicos, com destaque para o aeropônico (Buckseth et al. 2016).

A técnica da aeroponia apresenta como princípio a nebulização de solução nutritiva nas raízes das plantas, que é feita com nebulizadores de gotas pequenas (5 a 100 micrometros); além disso, as gotas devem preencher um ambiente escuro (câmara), que irá facilitar o desenvolvimento das raízes, estolões e tubérculos de batata (Ritter et al. 2001, Farran e Mingo-Castel 2006, Factor et al. 2007). Ademais, o desenvolvimento da cultura é

favorecido pela maior oxigenação do sistema radicular. Outra vantagem é a possibilidade de realização da colheita escalonada, que aumenta a taxa de multiplicação e facilita o planejamento da comercialização por permitir a coleta dos minitubérculos no momento desejado. De modo geral, esses fatores têm contribuído para a maior produção quando comparados a outros sistemas hidropônicos, como o *Deep Flow Technique* (DFT) e *Nutrient Film Technique* (NFT) (Factor et al. 2007). O sistema aeropônico também apresenta desvantagens, como: a necessidade de mão de obra qualificada, o elevado investimento inicial em relação aos outros sistemas (DFT e NFT), a dependência de energia elétrica e a falta de informações relacionadas a construção e condução do sistema em escala comercial (Farran e Mingo-Castel 2006, Chang et al. 2012, Mateus-Rodríguez et al. 2013, Calori et al. 2014).

Para superar a falta dessas informações, este trabalho teve como objetivo descrever um sistema aeropônico de dimensões comerciais (estudo de caso), bem como a experiência dos autores com o cultivo aeropônico de batata-semente em larga escala. Ainda, ao longo da pesquisa, serão mencionadas modificações que foram realizadas com intuito de implementar a técnica, bem como fatores que ainda precisam ser melhorados.

Construção do sistema

A descrição do sistema deste trabalho trata-se da experiência dos autores com cultivos de batata realizados ao longo de três anos: 2014, 2015 e 2016 (Calori et al. 2014, Factor et al. 2014, Factor et al. 2016 e Calori et al. 2017), com resultados originados de uma unidade de produção de minitubérculos localizada na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Polo Regional de Desenvolvimento dos Agronegócios do Nordeste Paulista, Mococa, Estado de São Paulo, Brasil.

A unidade de produção foi composta por uma estrutura de ambiente protegido (estufa agrícola, 168 m²), sem controle climático, que serviu para acomodar o sistema aeropônico. O sistema aeropônico foi composto de quatro partes: a) estrutura de suporte para os módulos de produção; b) módulos de produção; c) estrutura de tutoramento e suporte para plantas; d) sistema hidráulico (Figura 1), a seguir detalhados.

A. Estrutura de suporte para os módulos de produção

A estrutura de suporte foi composta pelo reservatório de contenção da solução nutritiva (4,0 x 1,1 m), construído com tijolos (9 x 19 x 19 cm) (Figura 1 a). O reservatório foi impermeabilizado utilizando-se um material elástico e flexível (policloreto de vinila - PVC) (Figura 1 b); ainda, o reservatório foi nivelado deixando-se 2% de queda, voltada para o seu centro, onde colocou-se saída (ralo), destinada a captação e condução da solução nutritiva (sistema hidráulico melhor discutido no item D).

Os reservatórios foram construídos no nível do solo, porém uma melhor estratégia seria a elevação desses, passando do nível do solo para um patamar maior de 70-90 cm. Nessas condições, a maior altura pode facilitar o processo de colheita, melhorando as condições ergonômicas de trabalho. O único empecilho seria no momento do transplante definitivo, que exigiria um suporte (escada) para alcançar a parte superior.

O piso (chão) do ambiente protegido foi revestido com concreto (Figura 1 c). Além desse material, outros de menores custos podem ser utilizados, como ralias de solo e pedras britas. Porém, neste trabalho, a escolha do concreto foi com o objetivo de facilitar a limpeza, melhorar a sanidade e a circulação das pessoas dentro do ambiente protegido, além de favorecer a fixação e sustentação da estrutura de suporte e dos módulos de produção. Vale mencionar que abaixo do concreto foram colocadas as tubulações. Assim, qualquer problema de obstrução e rompimento da tubulação abaixo do concreto pode dificultar a manutenção. Para superar essa adversidade, a tubulação pode ser disposta acima do nível do solo (exposta) em futuros sistemas.

B. Módulos de produção

Os módulos de produção, aqui também tratados de bancadas de cultivo, foram compostos por tubos de aço carbono galvanizado (metalons – 50 x 30 mm), que formaram uma estrutura de 4,4 m³ (4,0 x 1,1 x 1,0 m), totalizando 16 bancadas e uma área total para cultivo de 70,4 m² (Figura 2 a). A estrutura das bancadas foi revestida por filme plástico dupla face (preto/branco) de polietileno com 200 µm, que foi fixado por trilhos de alumínio com molas de aço, na parte superior e interna das bancadas, e apresentou dupla função: impermeabilizar as bancadas durante a nebulização; e impedir a entrada de luz no interior dos módulos de produção.



Figura 1 – Detalhes da estrutura de suporte (a); do revestimento do reservatório (b); das janelas laterais deslizantes nos módulos de produção (c) da estrutura de tutoramento (d); de uma linha de nebulização no interior do módulo de produção, e do o sistema radicular e estolões em produção (e) e dos reservatórios de solução nutritiva (d). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014.

Os módulos de produção, para a realização da colheita, contaram com janelas laterais deslizantes (Figura 2 a).

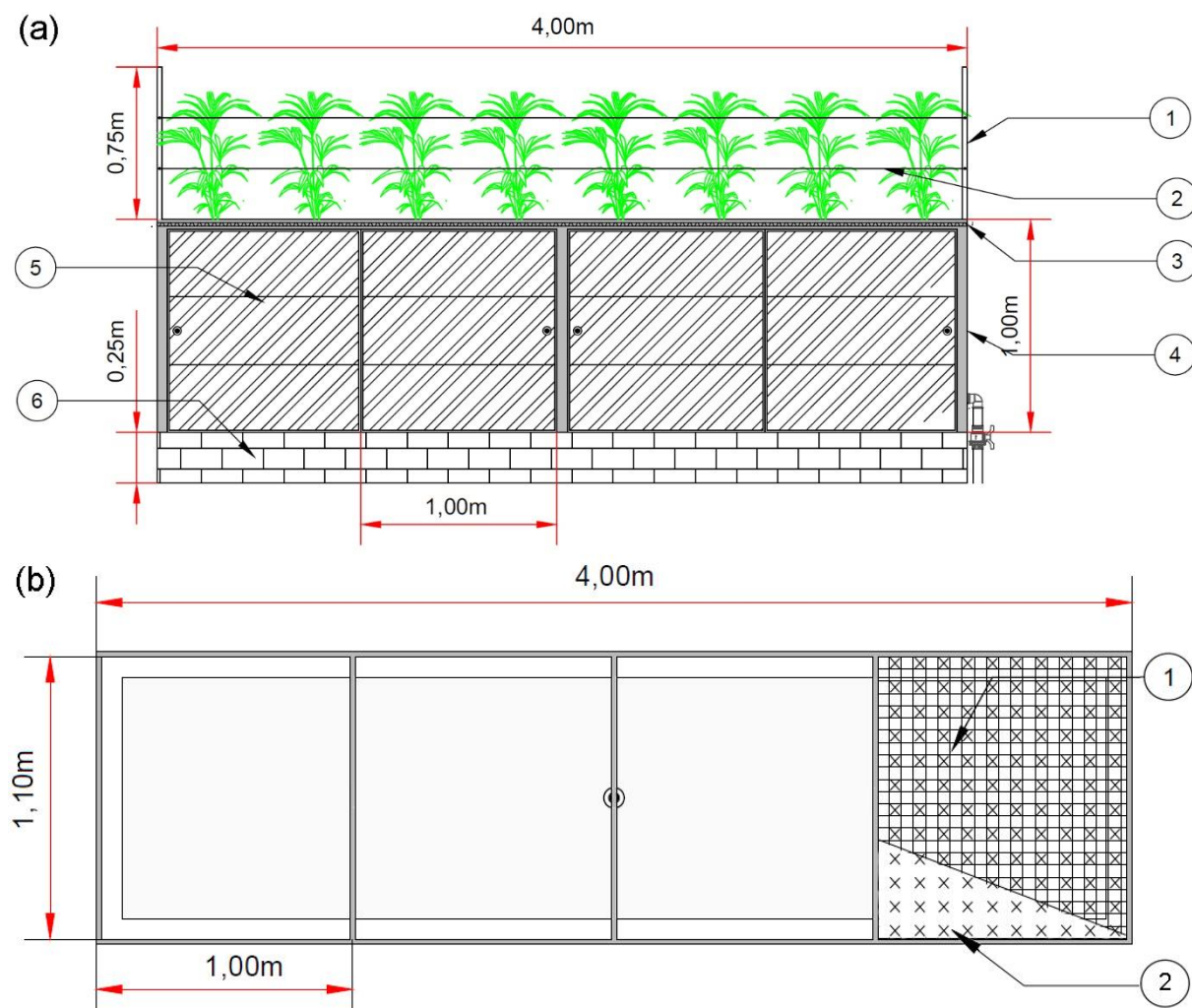


Figura 2 – a) vista lateral de uma bancada de cultivo aeropônico: 1) cantoneiras de aço de 0,75m utilizadas para tutoramento; 2) tela de *nylon* para condução das plantas; 3) perfil de alumínio com mola de aço, utilizado para fixação do plástico dupla face; 4) estrutura metálica de aço galvanizado; 5) janelas deslizantes e 6) estrutura de alvenaria; b) vista superior de uma bancada de cultivo aeropônico: 1) detalhe da tela ondulada de aço galvanizada; 2) detalhe do filme de polietileno dupla face. Escala 1:1. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014. Imagem de Fonte: Calori et al. 2017.

As janelas foram compostas por duas partes móveis (1,0 m²) de placas de PVC (8,0 mm) que foram apoiadas em trilhos duplos de alumínio. Os trilhos permitiram o deslizamento das janelas para ambos os lados (esquerda ou direita), deixando um lado oposto livre para a colheita. Na literatura, para a realização da colheita, diferente do realizado nesta pesquisa (janelas deslizantes), é possível observar a predominância de partes removíveis do sistema,

como a frontal (Ritter et al. 2001; Movahedi et al. 2012; Tierno et al. 2014) e a parte superior (Nugaliyadde et al. 2005; Tsoka et al. 2012). Nesta pesquisa, escolheu-se as janelas deslizantes por acreditar ser uma estrutura que permite maior facilidade no momento da colheita, agilizando esse procedimento em sistemas de grande porte.

Nos sistemas de grande porte, de modo a diminuir o investimento, os materiais utilizados para confecção da estrutura devem ser baratos. Nesta pesquisa, os materiais que compuseram a maioria da estrutura foram basicamente dois: aço galvanizado e PVC. Embora esses materiais sejam de baixo custo, eles ainda possuem maior custo de aquisição do que madeira e poliestireno expandido (isopor), utilizados em alguns trabalhos com aeroponia ao redor do mundo, como os de Singh et al. (2010); Muthoni et al. (2011); Chang et al. (2012); Masengesho et al. (2012); Oraby et al. (2015); Buckseth et al. (2016) entre outros. A escolha de aço galvanizado e PVC foi por acreditar que são materiais de maior durabilidade e menor susceptibilidade à contaminação por organismos fitopatológicos. Algas, estrutura de reprodução de fungos e bactérias podem se alojar em materiais como madeira e isopor, infectar as plantas de batata e dificultar o processo de esterilização.

C. Estrutura de tutoramento e suporte para plantas

No primeiro cultivo conduzido no ano de 2014 (Calori et al. 2017), as plantas de batatas não foram tutoradas. No decorrer do experimento, a falta de tutoramento proveu alguns problemas operacionais, como a dificuldade de movimentação entre as bancadas de cultivo, assim demandando um sistema que contivesse as plantas. O sistema de tutoramento foi composto por rede de *nylon* (0,15 x 0,15 m), fixada em cantoneiras de aço (0,75 m). Esse sistema pode conter algumas variações em seus tipos. Os mais comuns de serem observados na literatura são do tipo individual, onde as plantas são tutoradas uma por uma, ou do tipo “coletivo” (rede), onde todas são tutoradas coletivamente (Otazú 2010). O tutoramento coletivo, aquele utilizado nesta pesquisa (experimentos 2015 e 2016), parece ser mais adequado para cultivares de batata de ciclo de cultivo menor (< 90 dias); além de ser menos oneroso em tempo e mão de obra quando comparado ao sistema individual (planta-por-planta), muito empregado para batatas que possuem ciclo de cultivo longo (> 120 dias) e parte aérea abundante, com plantas podendo atingir 2 m de altura.

Além do sistema de tutoramento, as plantas foram sustentadas sob as bancadas de cultivo por um suporte metálico, denominado cubo metálico. Esse foi construído com arame galvanizado (2,8 mm) no formato de “X”, na dimensão de (5 x 5 x 5 cm), que se encaixou na

tela ondulada galvanizada (Figura 3 b, c). A principal função dessas duas estruturas (cubo metálico e tela ondulada) foi de sustentar a planta.

Também foi observado no primeiro cultivo (2014), que o uso do cubo metálico não foi interessante. Nessa estrutura, repetidamente, os novos tubérculos de batata ficavam presos, dificultando a sua remoção. Para contornar esse problema, se manteve apenas um arame (2015 e 2016) no cubo metálico, o que melhorou o processo de colheita e não prejudicou a sustentação da planta em nenhum momento. Em futuros cultivos, a retirada do cubo metálico e o teste de alternativas para a fixação da planta são iniciativas interessantes de serem consideradas.

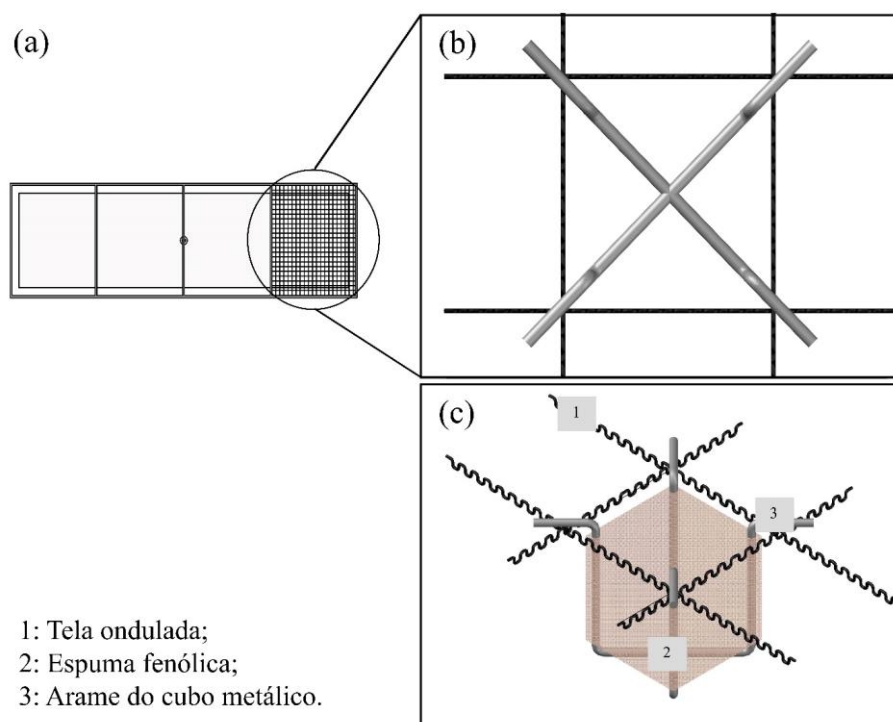


Figura 3 – Vista superior de uma bancada de cultivo (a); detalhe ampliado sob a vista superior da estrutura de sustentação das plantas, exibindo o suporte para plantas (b), e vista isométrica, exibindo a tela ondulada, o cubo metálico e a espuma fenólica utilizados no sistema aeropônico (c). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014.

D. Sistema hidráulico

O sistema hidráulico foi composto por nebulizadores (14 L h^{-1}), do tipo *fogger* (4,0 atm, Naandanjain) com tamanho de gota de $55 \mu\text{m}$. Esses foram dispostos alternadamente no espaçamento de 0,50 m entre si, em três linhas laterais espaçadas de 0,25 m entre si no interior de cada módulo de produção. Na parte interna das bancadas foram usadas três linhas de nebulização, compostas por tubos de PVC de 19 mm e dispostas à uma altura de 25 cm do piso

da bancada de cultivo. Esse sistema foi responsável pela nebulização da solução nutritiva, que posteriormente era drenada para os reservatórios.

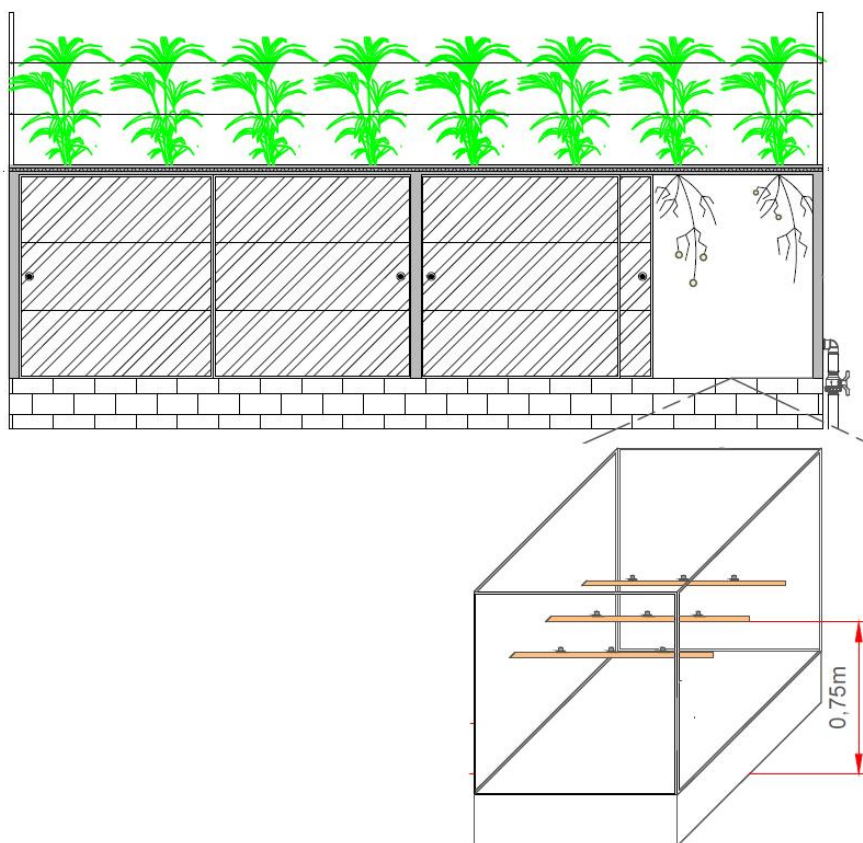


Figura 4 – Detalhes de um módulo de produção com uma das janelas deslizantes aberta, exibindo o sistema radicular e detalhe das disposições das linhas de nebulizadores a 0,75 m do piso da bancada de cultivo. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil 2014.

No sistema aeropônico descrito neste trabalho, a solução nutritiva foi drenada por um sistema composto por tubos de PVC de 50 mm e filtro de tela de 0,12 mm, sendo o destino da solução os reservatórios de água de 1.000 L, a partir do qual foi realizado novamente o recalque da solução para as bancadas de cultivo, constituindo-se de um sistema circulante e fechado.

Para o acionamento do sistema de recalque foi utilizada moto-bomba centrífugas de múltiplo estágio (1 c.v., trifásica) (modelo TBO0515, Thebe) operadas por painel de comando (timer). Na operação do sistema, o maior desafio foi o manejo da frequência de nebulização. Foram utilizadas duas frequências: 30/30 s (ligado/desligado) (Calori et al. 2017) e 60/60 s. Frequências de 10 s/20 min foram mencionadas por Farran e Mingo-Castel (2006) e de 30 s/10 min por Nugaliyadde et al. (2005) além de outras que podem ser encontradas na literatura.

Além da frequência de nebulização, merecem destaque o número e a disposição de nebulizadores. Os emissores (14 L h^{-1}) utilizados apresentaram bons resultados, contudo, especialmente no cultivo desenvolvido no inverno/primavera de 2014 (Calori et al. 2017), havia necessidade no aumento do número de nebulizadores e/ou alteração de sua disposição, pois no início do cultivo a solução nebulizada não atingia a base das plantas, exigindo irrigações esporádicas feitas manualmente. A necessidade motivou a realização de um teste, em que o melhor resultado foi a disposição das linhas de nebulizadores a 75 cm de distância do piso da bancada de cultivo (Figura 4).

Condução e operação do sistema

Na condução e operação do sistema aeropônico para a produção de batata-semente foram necessárias algumas etapas. Essas compreenderam, basicamente: a aclimação das plântulas, também chamado de transplante inicial, o transplante definitivo para os módulos de produção, a composição e manejo da solução de nutrientes, e a colheita. Todas essas estão a seguir detalhadas.

A. Aclimação das plântulas

Antes que as plântulas (*in vitro*) de batata fossem transplantadas para o sistema aeropônico, foi necessário um processo de aclimação. Este consistiu, basicamente, de favorecer o enraizamento das plântulas, de modo a evitar perdas de material propagativo. As plântulas (*in vitro*) utilizadas nos experimentos (2014, 2015 e 2016) foram provenientes de laboratório de cultura de tecidos (Centro de Horticultura/Instituto Agrônomo). Em todos os casos, procurou-se adquirir plântulas com idade aproximada de 20 dias após processo de repicagem; com este tempo as plântulas já apresentavam adequado desenvolvimento (2 folhas). Com o material suficientemente desenvolvido, este foi transplantado em placas perfuradas e úmidas de espuma fenólica (células de 5 x 5 x 5 cm), seguido de preenchimento dos espaços com vermiculita expandida superfina (Figura 5 a - e).



Figura 5 – Detalhe do transplante inicial e aclimação das plântulas. Perfuração da bandeja de espuma fenólica (a), umedecimento para facilitar o transplante (b), plântulas provenientes do laboratório de cultura de tecidos (c), transplante na espuma fenólica (d), colocação de vermiculita (e) e aclimação em berçário com tela de sombreamento e nebulização (f). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014.

Ao longo dos cultivos, foi observado um problema com o uso de vermiculita: queimaduras nas folhas das plântulas. Os resíduos de espuma, quando em contato com as pequenas folhas cotiledonares, promoveram injúrias. Dessa forma, em futuros trabalhos, o teste com outros substratos seria uma alternativa interessante de ser verificada.

Após os procedimentos de transplante, as placas foram acomodadas em uma estrutura, denominada “berçário” (Figura 5 f). A estrutura de berçário apresentou três componentes: i) bancadas do tipo *floating* (3,0 x 3,0 x 2,0 m), ii) sistema de nebulização (emissores de 4 Lh⁻¹, Naandanjain) e iii) cobertura com tela sombreamento (30%). O primeiro componente teve as funções de sustentar as placas de espuma fenólica e servir como base para o escoamento da solução nutritiva; o segundo componente teve como objetivo aumentar a umidade no ambiente; e por último, o terceiro componente apresentou função de diminuir a incidência de radiação solar nas plântulas de batata para evitar estresse e perdas de plântulas.

É importante ressaltar que o processo de aclimação pode ser dispensado em regiões de clima ameno (temperaturas noturnas < 20°C), porém o uso da aclimação é prática comum em sistemas aeropônicos ao redor do mundo. A aclimação, no *Centro Internacional de la Papa* (CIP), é realizada com o uso de bandejas preenchidas com areia (Otazú 2010). Outros tipos de substratos podem ser utilizados, como turfa (Ritter et al. 2011), perlita (Abdullateef et al. 2012) e fibra de casca de coco (Bag et al. 2015). O emprego da espuma fenólica foi devido à facilidade no processo de transplante para o sistema aeropônico, uma vez que não é necessário a esterilização do substrato e nem a “lavagem” do sistema radicular; basta apenas colocar a espuma no orifício do sistema (cubo metálico, Figura 3 c) no momento do transplante definitivo.

B. Transplante definitivo para os módulos de produção

Após a etapa de aclimação das plântulas, onde as mesmas já apresentavam sistema radicular e parte aérea definidos, de cinco folhas (Figura 6 a), foi realizado o transplante definitivo para os módulos de produção. As etapas do transplante definitivo foram: a perfuração do filme plástico, que revestiu a parte superior dos módulos de produção (Figura 6 b); e a colocação dos cubos de espuma fenólica nos orifícios formados (Figura 6 c, d). Para o tipo de sistema utilizado, esses procedimentos foram rápidos e fáceis de serem realizados, cerca de 20s para o transplante de uma planta; diferente do observado para outros sistemas, onde é necessário lavar o sistema radicular das plantas para inserção e a colocação meticulosa das plantas nos orifícios do sistema, o que certamente demanda mais tempo e mão de obra.

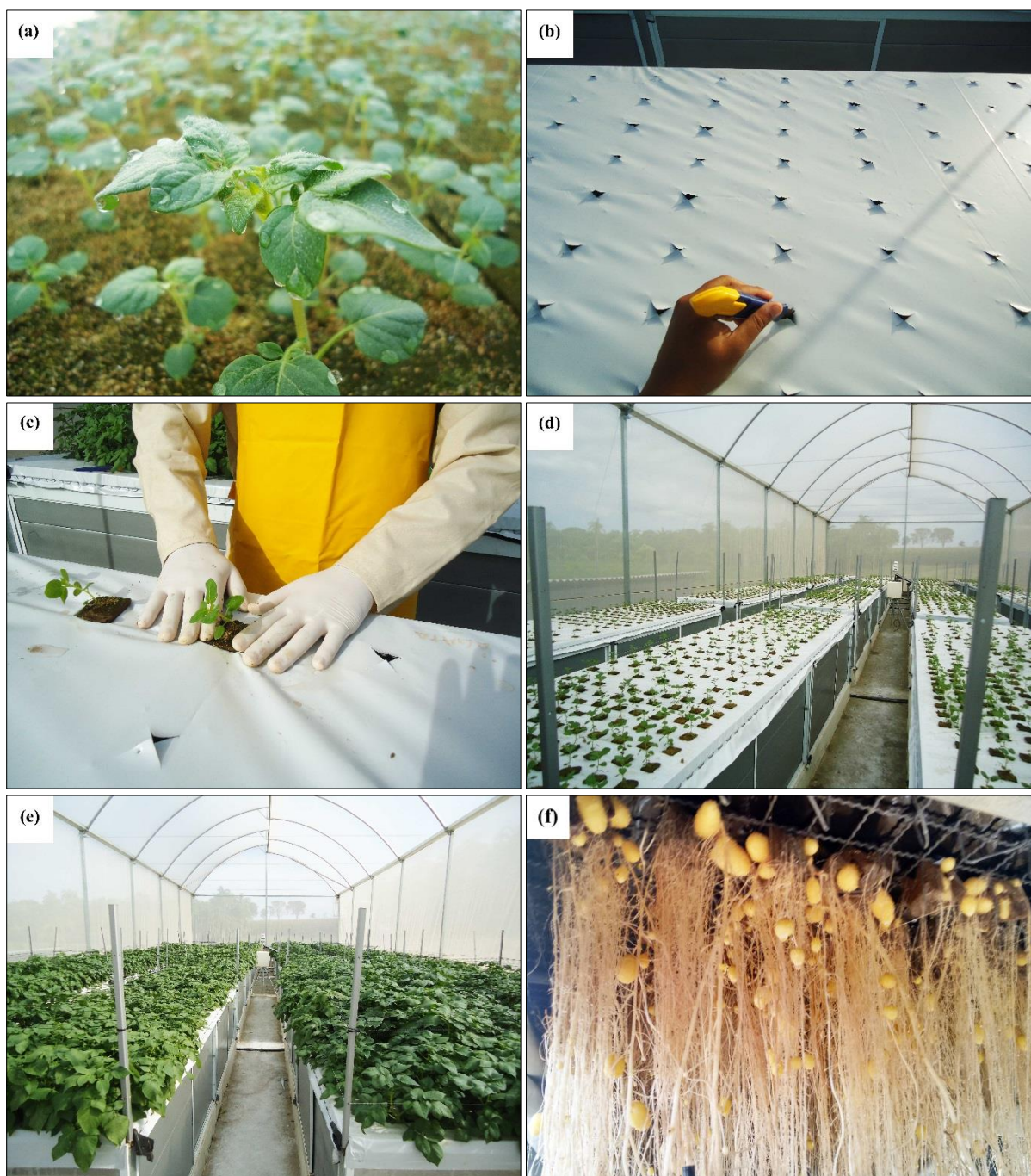


Figura 6 – Detalhe do transplante para as bancadas de cultivo. Plântulas em idade de serem transplantadas (a), perfuração das bancadas de cultivo (b), realização do transplante (c), transplante recém finalizado (d), plantas de batata em pleno desenvolvimento (e) e tuberação (f). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2014.

Porém, a despeito das vantagens do uso da espuma fenólica, a combinação deste material com vermiculita apresentou algumas desvantagens ao longo dos experimentos. A principal delas foi relacionada a considerável quantidade de partículas de espuma e vermiculita acumuladas na solução nutritiva, demandando mão de obra para desobstrução dos filtros e emissores, que frequentemente eram entupidos.

C. Composição e manejo da solução de nutrientes

Após o transplante definitivo para os módulos de produção do sistema aeropônico, as plantas de batata receberam solução nutritiva para seu crescimento. Utilizou-se a solução de Factor et al. (2007), com as seguintes concentrações de 145 (NO_3^-), 29 (NH_4^+), 40 (P), 295 (K), 162 (Mg), 40 (Ca), 64 (S), 2,0 (Fe), 0,3 (Zn), 1,0 (Mn), 0,3 (B), 0,05 (Cu), e 0,05 (Mo) mg L^{-1} e condutividade elétrica (CE) de aproximadamente 2,0 dS m^{-1} . Para compor essa solução, os fertilizantes utilizados foram nitrato de cálcio, fosfato monoamônico, nitrato de potássio, sulfato de magnésio, sulfato de potássio e cloreto de potássio, ferro EDDHMA, e profol (Produquímica): sulfato de zinco, sulfato de manganês, ácido bórico, sulfato de cobre e molibdato de sódio.

A CE é de extrema importância no cultivo aeropônico de batata; informações mais específicas podem ser encontradas em Factor et al. (2016) e Calori et al. (2017).

Usualmente, a CE é adotada como parâmetro para a correção da concentração de nutrientes da solução nutritiva. Nestes trabalhos, essa correção foi realizada com o auxílio de um aparelho portátil e digital (modelo HI 98130, Hanna), sendo os valores medidos de CE corrigidos quando esses se situam acima ou abaixo de 0,1 dS m^{-1} do valor de referência (2,0 dS m^{-1}). No primeiro caso, a correção foi feita mediante a adição de água e, no segundo, pela adição de volume complementar de solução nutritiva estoque, com proporção de nutrientes correspondente a solução de referência. Outro fator de grande importância é pH da solução. Procurou-se manter esse no intervalo entre 5,5 a 6,5, mediante adição de ácido sulfúrico 6N ou hidróxido de sódio 1N. É importante ressaltar que, em função da absorção pelas plantas, a solução nutritiva perde sua concentração inicial de nutrientes ao longo do tempo, sendo necessário o descarte, que foi realizado com cerca 20 dias antes da utilização de nova solução.

D. Colheita

Nos cultivos descritos neste trabalho, a tuberização iniciou-se por volta dos 30-40 dias após o transplante definitivo para os módulos de produção (Figura 6 e, f), assim demandando colheita. Pela estrutura de janelas deslizantes dos módulos de produção, o processo de colheita do sistema foi bastante fácil comparado com outros sistemas hidropônicos, como DFT e NFT (Factor et al. 2007). A coleta dos minitubérculos consistiu de removê-los da planta quando apresentavam diâmetro aproximado 30 mm (Figura 7 a); recomendação de Medeiros et al. (2002).



Figura 7 – Detalhes da realização da colheita (a), minitubérculos colhidos e ensacados (b), pesagem (c) e armazenagem dos minitubérculos (d). IAC/APTA, Mococa-SP, 2014.

A despeito da simplicidade, alguns cuidados foram levados em consideração para evitar danos ao sistema radicular e, principalmente, aos estolões, que poderiam originar novos minitubérculos. As precauções adotadas foram: i) treinamento do pessoal para a colheita e ii) colheitas nos horários de menor temperatura (7:00 às 10:00 h). Após colhidos, os minitubérculos foram ensacados e pesados (Figuras 7 b, c). Antes do processo de armazenagem (Figura 7 d), os minitubérculos passaram por um processo de cura. Esse consistiu de deixar o material colhido em local ventilado para favorecer o fechamento das lenticelas.

Desenvolvimento a ser realizado

Após três anos de experiências com o sistema aeropônico e procedimentos operacionais anteriormente mencionados, grande parte dos desafios foi superada. Os desafios que ainda não foram superados estão elencados a seguir e congregam novas adaptações do sistema e dos procedimentos operacionais.

A. Construção do sistema

A estrutura de suporte (construção do sistema, item A) utilizada não apresentou problemas. Por ter sido construída com materiais duráveis (tijolo e aço galvanizado), nessa estrutura, após três anos de utilização, ainda não foram realizadas manutenções.

No entanto, algumas manutenções/adaptações já foram realizadas nos módulos de produção (construção do sistema, item B). A principal adaptação realizada foi a pintura das janelas deslizantes de PVC, realizada por duas camadas de tinta: a primeira na coloração preta (fundo) e a segunda na coloração prata (verniz). Essa pintura teve como principais objetivos a diminuição da entrada de luz e da temperatura no interior dos módulos de produção. A diminuição da temperatura, principalmente na zona radicular, é importante estudo que pode favorecer o desenvolvimento da cultura da batata e aumentar sua produtividade, como já observado por Chang et al. (2006). No sistema descrito neste trabalho, para uma melhor tomada de decisão, experimentos com resfriamento necessitam ser conduzidos. Formas de realizar tal resfriamento seriam o uso de sistemas de compreensão para resfriamento da solução, ou até mesmos sistemas mais baratos, como os baseados na evaporação natural (Padfan) que poderiam ser acoplados nas bancadas de cultivo.

No sistema descrito neste trabalho, fixados às bancadas de cultivo encontravam-se a estrutura de tutoramento, compostas por cantoneiras de aço e malha de *nylon* (Construção do sistema, item C). Essa favoreceu a condução das plantas e não apresentou problemas. Dificuldades foram encontradas com o suporte para plantas, mais especificamente com o cubo metálico. Como já mencionado, o cubo metálico dificultou a remoção dos minitubérculos emitidos na base da planta, sendo necessário deixar apenas um arame. Acredita-se ser possível a não utilização de arame, ou seja, sem o emprego do cubo metálico.

Por último, o sistema hidráulico necessita de aprimorados. Dentre os principais aprimoramentos, que valem a pena serem citados, estão: a adequação do modelo (vazão), número e disposição de nebulizadores, bem como a associação desses com a frequência de nebulização; obviamente, com vistas ao aumento da eficiência do uso da água. O ajuste perfeito (ou aproximado) da frequência de nebulização em aeroponia poderia ser realizado via automação do sistema. Uma das formas de fazer a automação seria a junção do recém desenvolvido sensor de pressão de turgor (Zimmermann et al. 2008) com um micro controlador e este controlador do funcionamento das moto-bombas. Para esse fim são necessários esforços coletivos de várias áreas do conhecimento, como agronomia, eletrônica e mecânica.

B. Condução e operação do sistema

A etapa de aclimação das plântulas foi demorada e exigiu um contingente considerável de mão de obra. Uma das formas de reduzir o uso da força de trabalho seria a colocação direta das plântulas nos módulos de produção, ou seja, sem a etapa de aclimação. Porém, a ausência do período de aclimação pode ser um problema em regiões de clima quente, podendo ocasionar grande perdas de material. Para evitar as perdas são necessários experimentos que avaliem diferentes métodos de transplante.

A etapa de transplante definitivo para as bancadas de cultivo foi uma das etapas mais fáceis e rápidas de serem conduzidas, que foi facilitada pelo formato da espuma fenólica (cúbico) que se encaixou no suporte para plantas (cubo metálico + tela ondulada). Adaptações no suporte para plantas seriam necessárias caso o método de transplante direto, mencionado no parágrafo anterior, fosse escolhido.

No que se refere a composição e manejo da solução de nutrientes, neste procedimento ainda há muito o que ser desenvolvido. Para preencher essa lacuna de informação, alguns trabalhos com diferentes concentrações de nutrientes já foram realizados na estrutura descrita neste trabalho (ver: Factor et al. 2016 e Calori et al. 2017). Porém, além desses estudos já realizados, o manejo de nitrogênio na solução é importante estratégia para aumentar a produtividade da batata, como recentemente demonstrado por Oraby et al. (2015) e Chang et al. 2016.

O procedimento de colheita, como já mencionado, foi bastante simples. No entanto, alguns estudos podem ser conduzidos no sentido de verificar a resposta da planta à diferentes intervalos de colheita. O intervalo comumente empregado na presente pesquisa foi de sete dias, porém outros podem ser utilizados, como já destacado por Farran e Mingo-Castel (2006).

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., & 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>.
- Bag, T. K., Srivastava, A. K., Yadav, S. K., Gurjar, M. S., Diengdoh, L. C., Rai, R., & Singh S. (2015). Potato (*Solanum tuberosum*) aeroponics for quality seed production in north eastern Himalayan region of India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85, 1360–4.
- Buckseth, T., Sharman, A. K., Pandey, K. K., Singh, B. P., & Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics - A review. *Scientia Horticulturae*, 204, 79–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.041>.
- Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C. & Purquerio, L. F. V. (2014). Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata no Estado de São Paulo. *O Agrônômico*, 64-66, 43-51.
- Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Moraes, C. C., & Purquerio, L. F. V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*, 76, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.022>.
- Chang, D. C., Jeong, J. C., & Lee, Y. B. (2006). Effect of root zone cooling on growth responses and tuberization of hydroponically grown “Superior” potato (*Solanum tuberosum*) in summer. *Journal of Bio-Environment Control*, 15, 340–345.
- Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y. & 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., Jin, Y. I., Kim, S. J., Park, S. T., Cho, Y. R., & Lee, Y. B. (2016). Nutritional and Structural Response of Potato Plants to Reduced Nitrogen Supply in Nutrient Solution. *American Journal of Potato Research*, 93, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9510-z>.

Factor, T. L., Calori, A. H., Purquerio, L. F. V., Feltran, J. C., Goncalves, G. S., & Martins, J. G. M. (2014). Novo sistema de aeroponia para produção de batata-semente no Brasil: I – Descrição do sistema. *Batata Show*, 14, 25 - 29.

Factor, T. L., Calori, A. H., Purquerio, L. F. V., Feltran, J. C., & Watanabe, E. Y. (2016). Novo sistema de aeroponia para a produção de minitubérculos de batata-semente no Brasil: II - Produção. *Batata Show*, 16, 36-39.

Factor, T. L., Kawakami, F. P. C. & Iunck, 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>.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). Statistical Pocketbook, World Food and Agriculture. FAO Statistic Division. Rome, Italy. Disponível: < <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

Farran, I., & 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>.

Masengesho, J., Nshimiyimana, J. C., Senkesha, N., & Sallah, P. Y. K. (2012). Performance of Irish potato varieties under aeroponic conditions in Rwanda. *Rwanda Journal*, 28, 84-94. <http://dx.doi.org/10.4314/rj.v28i1.7>.

Mateus-Rodriguez, 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., & Benítez, J. (2013). Technical and economic analysis of aeroponics and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. *American Journal of the Potato Research*, 90, 357-368. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9312-5>.

McCay, C. M., McCay, J. B., & Smith, O. (1987). The nutritive value of potatoes. In W. F. Talburt, & O. Smith (Eds.), *Potato processing* (p. 287–332). New York: Van Nostrand Reinhold.

Medeiros, C. A. B., Ziemer, A. H., Daniels, J. & 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>.

Movahedi, Z., Moieni, A., & Soroushzadeh, A. (2012). Comparison of aeroponics and conventional soil systems for potato minitubers production and evaluation of their quality characters. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 2, 13-21.

Muthoni, J., Mbiyu, M., & Kabira, J. N. (2011). Up-scaling production of certified potato seed tubers in Kenya: Potential of aeroponics technology. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3, 238-243.

Nugaliyadde, M. M., De Silva, H. D. M., Perera, R.; Ariyaratna, D., & Sangakkara, U. R. (2005). An aeroponic system for the production of pre-basic seed potato. *Ann. Sri Lanka Dept. Agric.*, 7, 199–288.

Oraby, H., Lachance, A., & Desjardins, Y. (2015). A low nutrient solution temperature and the application of stress treatments increase potato mini-tubers production in an aeroponic system. *American Journal of Potato Research*, 92, 387-397. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-015-9444-x>.

Otaquí, V. (2010). *Manual on Quality Seed Potato Production using Aeroponics*. Lima: Peru.

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, J., Relloso, J. & 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>.

Singh, S., Singh, V., Singh, B. P., & Pandey, S. K. (2010). Aeroponics for potato seed production. *ICAR News*, 16, 1–2.

Thomas-Sharma, S., Abdurahman, A., Ali, S., Andrade-Piedra, J. L., Bao, S., Charkowski, A. O., Crook, D., Karina, M. Kromann, O., Struik, P. C., Torrance, L., Garrett, K. A., & Forbes, G. A. (2016). Seed degeneration in potato: the need for an integrated seed health strategy to

mitigate the problem in developing countries. *Plant Pathology*, 65, 3-16. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12439>.

Tierno, R., Carrasco, A., Ritter, E. & Galarreta, J. I. R. (2014). Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *American Journal Potato Research*, 91, 346-353. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>.

Tsoka, O., Demo, P., Nyende, A., & Ngamau, K. (2012). Potato seed tuber production from in vitro and apical stem cutting under aeroponic system. *African Journal of Biotechnology*, 11, 12612-12618. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB10.1048>.

Zimmermann, D., Reuss, R., Westhoff, M., Geßner, P., Bauer, W., Bamberg, E., Bentrup, F. W., & Zimmermann, U. (2008). A novel, non-invasive, online-monitoring, versatile and easy plant-based probe for measuring leaf water status. *Journal of Experimental Botany*, 59, 3157–3167. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern171>.

CAPÍTULO 2

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

* Artigo publicado em: Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Morais, C. C., & Purquerio, L. F. V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*, 76, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.022>.

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

Alex Humberto Calori¹, Thiago Leandro Factor², José Carlos Feltran¹, Eduardo Yuji Watanabe³, Carolina Cinto de Moraes¹, Luís Felipe Villani Purquerio¹

¹Instituto Agronômico, Centro de Horticultura, Campinas-SP, ahcalori@gmail.com, feltran@iac.sp.gov.br, carolcmoraes@hotmail.com, felipe@iac.sp.gov.br; ²Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Nordeste Paulista, Mococa-SP, factor@apta.sp.gov.br; ³APTA, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itararé-SP, yuji@apta.sp.gov.br.

Resumo

A produção de batata-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 parcelas subdivididas, sendo a parcela constituída por quatro condutividades elétricas da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹) e a subparcela quatro densidades de plantio (25, 44, 66 e 100 plantas m⁻²) para duas cultivares de batata ('Ágata' e 'Asterix'), num total de quatro blocos. A condutividade elétrica da solução nutritiva que proporcionou a maior produtividade de minitubérculos de batata-semente, independente da densidade de plantas, foi a de 2,2 e 2,1 dS 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 m⁻².

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

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

Abstract

The recent introduction in Brazil of production of quality seed potato 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 production of seed potato minitubers in aeroponics system, the Agata and Asterix cultivars were produced in a greenhouse in tropical conditions (winter/spring). The experimental design was a randomized block in a split-plot design. The plot consists of four electrical conductivities of the nutrient solution (1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 dS m⁻¹) and the subplot of four plant densities (25, 44, 66, and 100 plants m⁻²) for two potato cultivars ('Agata' and 'Asterix'), totaling four blocks. The 2.2 and 2.1 dS m⁻¹ electrical conductivities yielded the highest productivity of seed potato minitubers for Agata and Asterix cultivars, respectively, regardless of plant density. For both cultivars, the highest yield was observed for the 100 plants m⁻² density.

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

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 NFT (*Nutrient Film Technique*) 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, do que os porosos.

Em contraste, se destaca o sistema aeropônico, nesse sistema pode se alcançar produtividades de até 49 minitubérculos por planta, além da colheita escalonada dos tubérculos, o que facilita a padronização e planejamento da comercialização (Ritter et al. 2001, Factor et al. 2007, Otazú 2010).

O sistema aeropônico consiste do 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-Rodríguez et al. 2013) e a falta de informações para adoção e condução do sistema (Calori et al. 2014).

No Brasil, pela carência de pesquisas e informações técnicas, há pouquíssimos produtores e empresas especializadas na produção de batata-semente 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 desta técnica ainda precisam ser investigados e aperfeiçoados de maneira a consolidar a adoção da aeroponia na produção de batata-semente do país, dentre os quais destaca-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 e a produtividade 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, estágio 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 a relação número de minitubérculos e peso dependendo, principalmente, do espaçamento entre plantas (Santos e Rodriguez 2008).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da condutividade elétrica 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

Local e sistema aeropônico – Devido as condições de clima e altitude, na região nordeste do Estado de São Paulo é possível produzir batata-semente em apenas duas 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 21°26'52.51"S e 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 e 2). O sistema foi instalado no interior de um ambiente protegido (sem controle climático) do tipo arco, com 8,0 x 21,0 m (168,0 m²), 4,0 m de altura de pé-direito e antecâmara de 3,0 m de aresta, coberto com filme de polietileno aditivado com 150,0 µm de espessura e tela antiafídeos nas laterais.

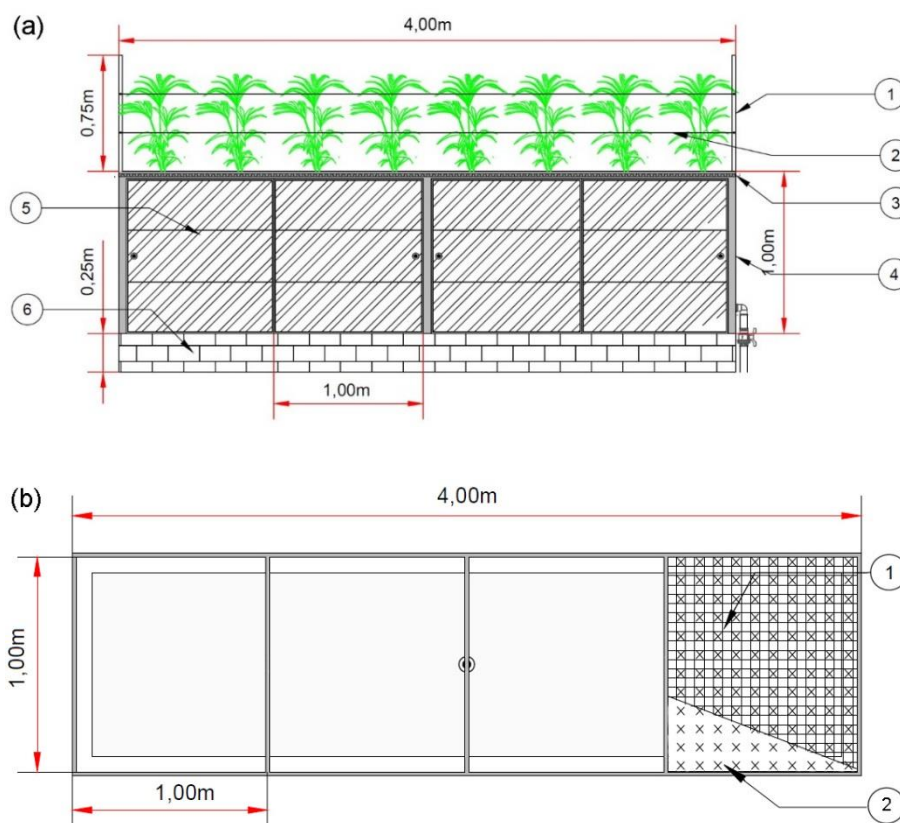


Figura 1 – Sistema aeropônico proposto por Calori et al. (2014); a) Vista lateral da caixa de cultivo aeropônico: 1) cantoneiras de aço utilizadas para tutoramento; 2) tela de nylon utilizada para condução das plantas; 3) conjunto de perfil de alumínio com mola de aço utilizado para fixação do plástico dupla face; 4) estrutura metálica de aço galvanizado; 5) janelas móveis e 6) estrutura de alvenaria. b) Vista superior de uma caixa de cultivo aeropônico: 1) detalhe da tela de aço galvanizado; 2) detalhe do filme de polietileno dupla face. Escala 1:1. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Delineamento experimental – O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo a parcela (4,4 m²) constituída por quatro CE's da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹) e a subparcela (1,1 m²) formada por quatro densidades de plantio (25, 44, 66 e 10 plantas m⁻²), compostas pelos espaçamentos

entre plantas de 0,2 x 0,2; 0,15 x 0,15; 0,1 x 0,15 e 0,1 x 0,1 m para as cultivares de batata Ágata e Asterix, num total de quatro blocos.

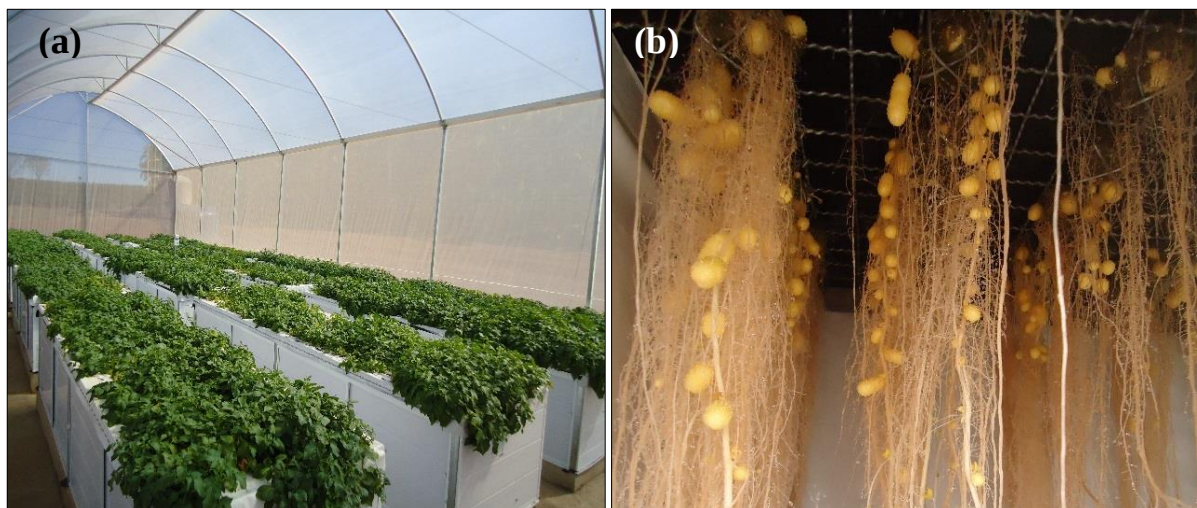


Figura 2 – Vista superior das caixas de cultivo com as cultivares Ágata e Asterix em produção (a) e vista interna das caixas de cultivo, exibindo o sistema radicular e estolões das plantas de batata em plena tuberização (b). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Cultivares – Foram utilizadas as cultivares Ágata (BM 52.72 x Sirco) e Asterix (Cardinal x SVP Ve 70-9e) por possuírem formato e coloração da epiderme dos tubérculos distintas, o que facilita a colheita e separação na aeroponia; e por se tratar dos principais genótipos atualmente cultivados no país para o mercado *in natura* e de pré-frita congelada, respectivamente.

Manejo da solução nutritiva – 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 mg L⁻¹ de NO₃⁻, NH₄⁺, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Cu e Mo, respectivamente, e CE de aproximadamente 2,0 dS m⁻¹. A partir desta solução, três concentrações adicionais foram preparadas, calculadas por coeficientes de 0,5, 1,5 e 2,0 a partir da solução original (2,0 dS m⁻¹), de maneira a obter as diferentes condutividades elétricas estudadas (1,0, 2,0, 3,0 e 4,0 dS 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 dS 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 a solução original. O pH da solução nutritiva foi medido com o mesmo aparelho e mantido no intervalo entre 5,5 a 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 Agrônômico), foram transplantadas com idade de 20 dias após repicagem, altura média de 5,0 cm e aproximadamente duas folhas. O transplante foi realizado em 25 de junho de 2014, em espuma fenólica (0,05 x 0,05 x 0,038 m) e aclimatadas em bancadas do tipo *floating*, cobertas com tela termo refletora (30%), simulando uma mini estufa agrícola (dimensões de 3,0 x 3,0 x 2,0 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.

Características analisadas – Para avaliar o estado nutricional das plantas foi realizada uma amostragem de folhas (3ª folha) a partir do tufo apical, segundo recomendação de Lorenzi et al. (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) e c) número de folhas planta⁻¹ (NF); e de produção de minitubérculos: d) número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP) e 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 três plantas de cada sub-subparcela, ou seja, de cada tratamento.

As avaliações de produção de minitubérculos (d, e) foram conduzidas a cada sete dias, a partir do início da tuberização, observado aos 45 DAT. Os dados dessas avaliações correspondem a produção total e real de minitubérculos, não foram realizadas amostragens. Para a colheita adotou-se o critério de colher os minitubérculos na faixa de 30,0 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 plantas m⁻²) e para ambas as cultivares, de acordo com Mateus-Rodríguez et al. (2013).

Foram registrados os valores médios diários de temperatura do ar (°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 m de altura no interior do ambiente protegido.

Análise estatística – Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste F. 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 determinação (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 ‘Origin Pro’ versão 8.

Resultados e discussão

Elementos meteorológicos – Durante o período experimental a temperatura média foi de 23 °C, com máxima média de 33 °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). A 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.

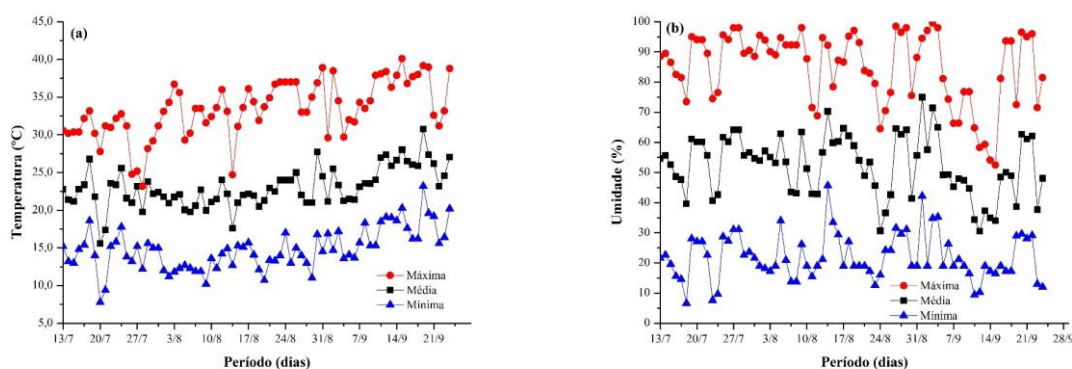


Figura 3 – Temperatura (°C) (a) e umidade relativa do ar (%) (b) durante o período experimental (inverno/primavera). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

A temperatura máxima média, na maior parte do período experimental, esteve acima de 30 °C. Temperaturas altas não só reduzem 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 potássio (K), que ocorreu o inverso. O potássio é um nutriente que atua na regulação osmótica da planta, especialmente como contra íons de ânions, 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 a toxicidade de íons.

Tabela 1 – Teores foliares de macronutrientes para as cultivares de batata Ágata e Asterix, aos 30 DAT, em função da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

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); ns: não significativo.

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. (1997), com exceção do enxofre (6,9 g kg⁻¹), na CE de 4,0 dS m⁻¹ para ‘Asterix’, que apresentou valor superior ao sugerido (2,5 a 5,0 g kg⁻¹) e do nitrogênio (N) observado (39 g kg⁻¹) na CE de 1,0 dS m⁻¹ para ‘Ágata’ que ficou abaixo do recomenda pelos mesmos autores (40-50 g kg⁻¹) (Tabela 1), confirmado pela coloração amarelada visual das folhas mais velhas (clorose) neste 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).

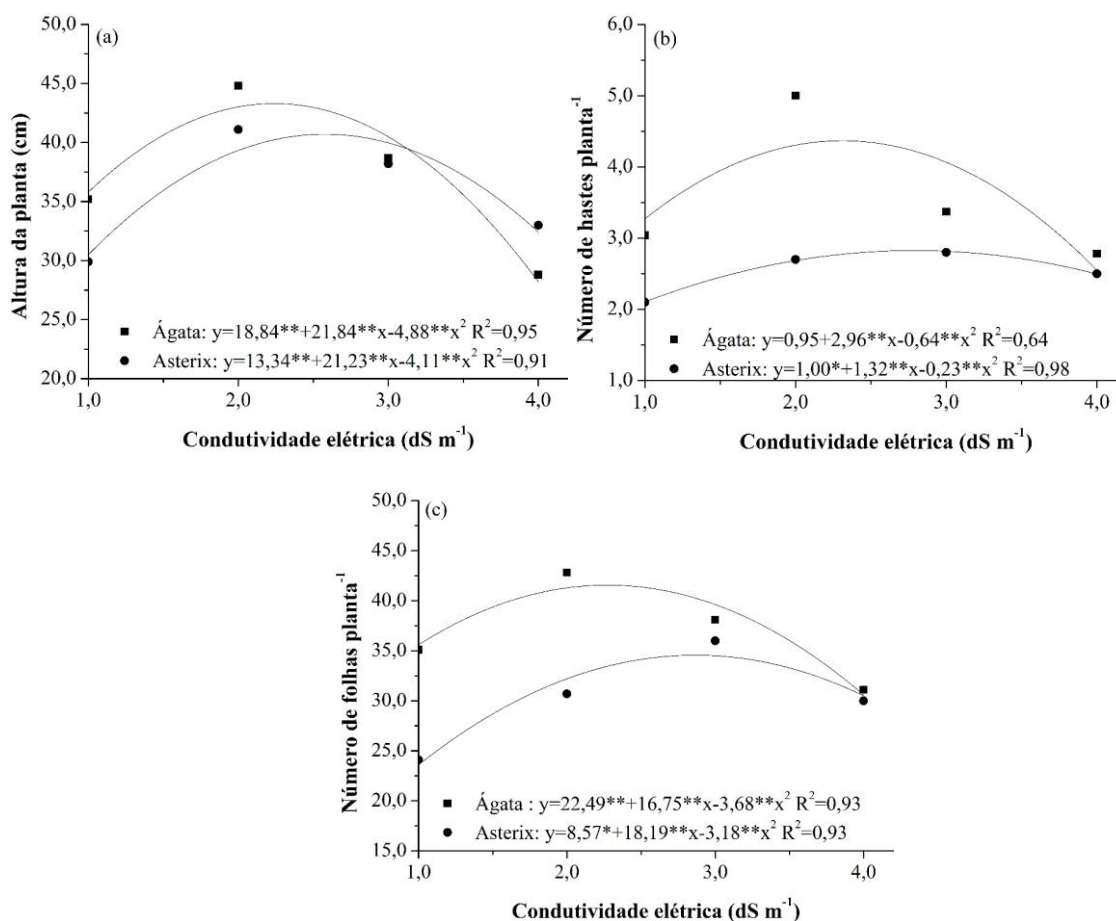


Figura 4 – Altura da planta (a), número de hastes planta⁻¹ (b) e número de folhas planta⁻¹ (c) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Para ‘Ágata’ houve acréscimo na ALT com o aumento da CE da solução nutritiva até um máximo de 2,2 dS m⁻¹, sendo o maior valor observado de 42,9 cm (Figura 4a), 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 cm, respectivamente, porém ambos na CE de 2,3 dS m⁻¹ (Figura 4b,c).

Referente a cultivar Asterix, a maior ALT (40,7 cm) foi verificada na CE de 2,6 dS 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 dS m⁻¹ (Figuras 4b, c). Os maiores valores

de CE's 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 destacaram 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 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 5a, b).

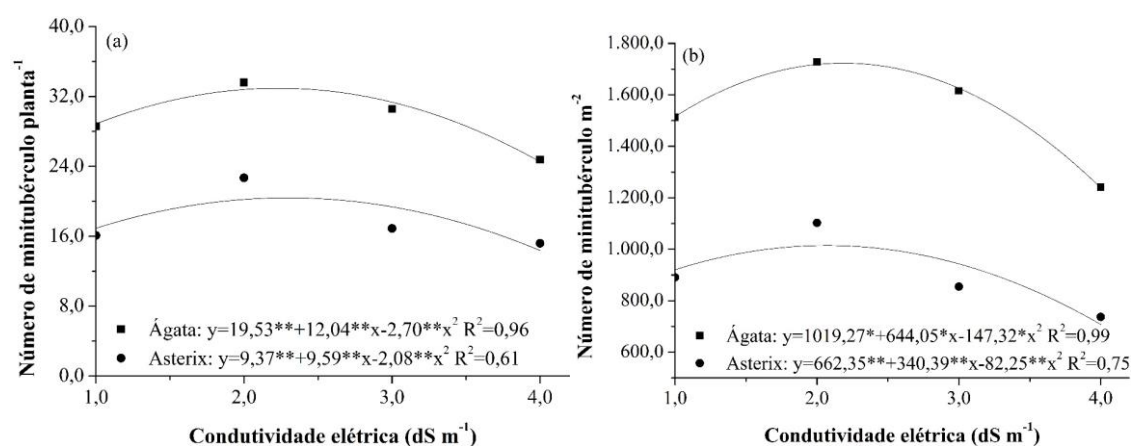


Figura 5 – Número de minitubérculo planta⁻¹ (a) e número de minitubérculo m⁻² (b) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

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. 2006), 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 a 'Ágata', as maiores médias observadas de 33,0 para NMTP e 1.723 para NMTM2 foram obtidas na CE de 2,2 dS m⁻¹ (Figura 5a, b). Novella et al. (2008) também

observaram efeito polinomial quadrático ao estudarem diferentes CE's na produção 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 435,0 minitubérculos m⁻² em CE de 2,5 dS m⁻¹, valor mais próximo ao obtido neste trabalho.

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).

Tabela 2 – Altura da planta (ALT), número de hastes planta⁻¹ (NH) e número de folhas planta⁻¹ (NF) em função da densidade de plantas para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Densidades (plantas m ⁻²)	Características					
	ALT	NH	NF	ALT	NH	NF
	(cm)	--	--	(cm)	--	--
	-----'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
Test F	176,0**	3,9	948,4**	17,4	1,9**	161,9
CV (%) ²	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); ²CV: coeficiente de variação; **significativo (p<0,01).

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 x NF e NH pode ser atribuído ao adensamento de cultivo, ou seja, na medida em que se aumenta a densidade ocorre maior competição intraespecífica, sobretudo por luz, sendo destinado 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 verificado por Dellai et al. (2005) para 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), sendo para esta última cultivar a média não diferente da observada na densidade de 44 plantas m⁻² (Tabela 3). Maior número de tubérculos por planta em menores densidades de plantas também foram obtidos por Abdullateef et al. (2012) em aeroponia, Santos e Rodrigues (2008) em vasos, Kim et al. (2008) e Corrêa et al. (2007) em caixas contendo substratos.

Tabela 3 – Número de minitubérculo planta⁻¹ (NMTP) e número de minitubérculo m⁻² (NMTM2) em função da densidade de plantas para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

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
Test 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 (>0,05);

²CV: coeficiente de variação; **significativo (p<0,01); *significativo (p<0,05).

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 3a) de acordo com Burton (1972), o que pode ter contribuído para o menor rendimento de minitubérculos de batata-semente obtidos neste trabalho.

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), mas que por sua vez não diferiu da densidade de 66 plantas m⁻². 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).

Tabela 4 – Indicadores econômicos em função da densidade de plantas para as cultivares Ágata e Asterix, cultivadas em aeroponia. (Conteúdo suplementar). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

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

¹TIR: taxa interna de retorno; ²VPL: valor presente líquido; ³PBS: *payback* simples; ⁴PBD: *payback* descontado a 10% a.a.; ⁵IRM: índice de retorno marginal, calculado com base no VPL e ⁶ US\$ 1,00 no valor de R\$ 3,89, cotação realizada em 2/03/2016.

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 três ciclos de cultivo por ano, o que certamente contribuiria para a maximização dos retornos econômicos. Os valores financeiros observados para ‘Ágata’ na maior densidade de plantas foram semelhantes aos observados no Peru e Equador por Mateus-Rodríguez et al. (2013). De acordo com Karafyllidis et al. (1997), um maior número de minitubérculos e produtividade são esperados em altas densidades em relação as 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 (Tabela 2).

Os resultados de produtividade obtidos nesta pesquisa 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 esses autores empregaram densidades de 44 e 60 plantas m^{-2} , respectivamente.

Conclusão

A condutividade elétrica da solução nutritiva que proporcionou a maior produtividade de minitubérculos de batata-semente, independente da densidade de plantas, foi a 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. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.53>.
- AliceWeb – Análise das Informações de Comércio Exterior (2015). Ministério, Indústria e Comércio Exterior, Secretaria de Comércio Exterior. <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em 27 dez. 2015.
- Bisognin, D. A., & Streck N. A. (2009). Desenvolvimento e manejo das plantas para alta produtividade e qualidade da batata. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata, 30p.
- Boersig, M. R., & Wagner, S. A. (1988). Hydroponic system for production of seed tubers. *America Journal of Potato Research*, 65, 470-471.

Burton, W. G. (1972). The response of potato plant and tuber to temperature. In: Rees, K. E., Kockahull, D. W., & Hurd, G. R. (Eds). *The Crop Processes in Controlled Environments*, New York: Academic Press, London, 217-233.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., & Purquerio, L. F. V. (2014). Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata-semente no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, 64-66, 43-51.

Chang, D. C., Park, C. S., Lee, J. G., Lee, J. H., Son, J. M., & Lee, Y. B. (2005). Optimizing electrical conductivity and pH of nutrient solution for hydroponic culture of seed potatoes (*Solanum tuberosum*). *Korean Society for Horticultural Science*, 46, 26-32.

Chang, D.C., Cho, I. C., Suh, J. T., Kim, S. J., & 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., & 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>.

Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., & 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., Pinto, J. E. B. P., Reis, E. S., Monteiro, A.B., Pinto, C. A. B. P., & Faquim, 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>.

Corrêa, R. M., Pereira-Pinto, J. E. B., Pereira-Pinto, C. A. B., Faquin, V., Reis, E. S., Monteiro, A. B., 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>.

Daniels, J., Pereira, A. S., & 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., & 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., & Bloom, A. (2006). *Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas*. Londrina: Editora Planta.

Factor, T. L., Kawakami, F. P. C., & Iunck, 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., & 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., & Silva, B. L. (2001). Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – Macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2039-2056.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600020>.

Figueiredo-Ribeiro, R. C. L.; Chu, E. P., & V.P. (2006). Tuberização. In Kerbauy, G.B. (ed.). *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara

Furlani, P. R., Silveira, L. C. P., Bolonhezi, D., & Faquin, V. (1999). *Cultivo hidropônico de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico.

Goins, G. D., & 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., & 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., & 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., & 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., & Raij, B. van. (1997). Raízes e tubérculos. In Raij, B. van., Cantarella, H., Quaggio, J. A., & Furlani, A. M.C. (Eds.). 2. Boletim Técnico 100. Campinas: IAC.

Mateus-Rodríguez, J. R., Haan, de 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., & 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., & 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., & 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., & 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. da 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., & 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: Peru.

Resende, G. M., Alvarenga, M. A. R., Yuri, J. E., Souza, R. J. de, Mota, J. H., Carvalho, J. G. de & 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., Relloso, J., & 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., & Seutin, H. (1999). Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. *Potato Research*. 42: 457–469. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02358162>.

Santos, B. M., & Rodriguez. P.R. (2008). Optimum In-Row Distances for Potato Mini Tuber Production. *Hortechonology*, 18, 403-406.

Savvas, D., & 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>.

Strech, N. A., Lago, I., Alberto, C. M., & 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., & Lucchesi, A. A. (1999). Reguladores vegetais na batata cv. Monalisa, após a tuberização. *Scientia Agrícola*, 56, 975-980. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000400027>.

Tibbitts, T. W., & Cao, W. (1994). Solid matrix and liquid culture procedures for growth of potatoes. *Advances in Space Research*, 14, 427-433.

Tierno, R., & Carrasco, A., Ritter, 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>.

Lorenzi, J. O., Monteiro, D. A., Miranda Filho, H. S., & Raij, B. van. (1997). Raízes e Tubérculos: Composição mineral, amostragem e diagnose foliar. In: Raij, B. V., Cantarella, H., Quaggio, J.A., & Furlani, A.M.C. (Eds.). 2. Boletim Técnico 100. Campinas: IAC.

Wheeler, R. M., Mackowiak, C. L., Sager, J. C., Knott, W. M., & Hinkle, C. R. (1990). Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *American Journal of Potato Research*, 67, 177-187. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987070>.

CAPÍTULO 3

**Condutividade elétrica e densidade de plantas na produção de minitubérculos de batata-
semente em aeroponia sob condições tropicais de cultivo (outono/inverno)**

Condutividade elétrica e densidade de plantas na produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia sob condições tropicais de cultivo (outono/inverno)

Alex Humberto Calori ¹, Thiago Leandro Factor ², José Carlos Feltran ¹, Eduardo Yuji Watanabe ³, Luis Felipe Villani Purquerio ¹

¹Instituto Agrônomo, Centro de Horticultura, Campinas-SP, ahcalori@gmail.com, feltran@iac.sp.gov.br, felipe@iac.sp.gov.br; ²Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Nordeste Paulista, Mococa-SP, factor@apta.sp.gov.br; ³APTA, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento Itararé-SP, yuji@apta.sp.gov.br.

Resumo

A aeroponia é um dos sistemas hidropônicos mais recente no mundo. O seu emprego tem sido bastante difundido para a produção de batata-semente por permitir elevada taxa de multiplicação de minitubérculos de excelente qualidade sanitária. Porém, a despeito das vantagens, a falta de informações para conduzir o sistema é a principal barreira no avanço da técnica. De forma a superar essa barreira, os estudos de manejo nutricional e cultural são importantes iniciativas. Assim, os objetivos deste trabalho foram de verificar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva sobre o crescimento e produção de minitubérculos de batata-semente, de duas cultivares, no outono/inverno e verificar o efeito da densidade de plantas sobre a viabilidade técnica e econômica da produção de batata-semente em aeroponia. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquemas de parcelas subdivididas. A parcela foi composta pelas CE's da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹) e a subparcela composta pelas densidades de plantas (25, 44, 66 e 100 plantas m⁻²) para duas cultivares de batata ('Ágata' e 'Asterix'). As CE's da solução que proporcionaram maior produção de minitubérculos foram de 2,1 e 1,7 dS m⁻¹ para 'Ágata' e 'Asterix', respectivamente. Referente à densidade de plantas, para ambas as cultivares, a que proporcionou a maior viabilidade técnica e econômica foi a de 100 plantas m⁻².

Palavras-Chave: *Solanum tuberosum* L., ambiente protegido, cultivo sem solo, espaçamento entre plantas hidroponia, nutrição de plantas.

Electrical conductivity and plant density for seed potato minitubers productions in aeroponic system under tropical conditions (fall/winter)

Abstract

Aeroponic is one of the hydroponic systems more recent developed. Lately, wide attention has been paid to use aeroponic in seed potato production because of its benefits, e.g., high multiplication rate and high quality (disease-free) of the seeds obtained. Although the advantages, the technique also presents some gaps in knowledge that need to be overcome, being the nutritional and crop management the factors of major importance. Thus, the objectives of this work were: verify the effect of electrical conductivity (EC) of nutrient solution on plant shoot development and minitubers production for two cultivars in fall/winter and verify the effect of plant density on technical and economic feasibility of potato seed production under aeroponic system. The experimental design was a randomized block in a split-plot design and four repetitions. The plots were the ECs (1.0, 2.0, 3.0 and 4.0 dS m⁻¹) and the sub-plots were the plant density (25, 44, 66 and 100 plants m⁻²), for two potatoes ('Agata' and 'Asterix'). The ECs that result in higher minitubers production were 2.1 and 1.7 dS m⁻¹ for 'Agata' and 'Asterix', respectively. Regarding the plant density, for both cultivars, 100 plants m⁻² was the best density that promoted technical and economic feasibility.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., greenhouse, hydroponic, plant nutrition, soilless cultivation, spacing between plants.

Introdução

A aeroponia é um dos sistemas hidropônicos mais recentes no mundo. A técnica aeropônica consiste em cultivar as plantas com as raízes suspensas no ar, em um ambiente escuro, com solução nutritiva nebulizada em gotículas (Christie e Nichols 2004). Essa estrutura favorece a produtividade das culturas por não haver restrições, principalmente, por oxigênio, água e nutrientes (Barak et al. 1996). Por esses motivos, a aeroponia tem sido utilizada para o cultivo das mais variadas espécies, incluindo alface (Albornoz et al. 2014), rosas (Yeo et al. 2013), plantas medicinais (Hayden 2006), tomate (Komosa et al. 2014) e batata para a finalidade de semente (Farran e Mingo-Castel 2006, Calori et al. 2017).

Para o cultivo de batata-semente, a utilização da aeroponia tem sido difundida nos últimos anos por permitir alta taxa de multiplicação de minitubérculos de elevada qualidade

sanitária (livre de doenças) (Calori et al. 2017), com valores observados na literatura de 72 unidades por planta (Mateus-Rodríguez et al. 2012). Essa elevada taxa é obtida, sobretudo, pela colheita escalonada. A colheita gradual favorece a emissão de novos tubérculos (nos estolões), além de permitir a obtenção dos minitubérculos no momento e medida desejados, o que facilita o planejamento da colheita e da comercialização (Lommen 2007, Ritter et al. 2011). Porém, a despeito dessas vantagens, existem diversas lacunas de informações relativas à condução do sistema (Calori et al. 2014, Tierno et al. 2014, Buckseth et al. 2016). Dentre essas, podem-se elencar as relacionadas a solução nutritiva e ao manejo cultural. Na solução nutritiva, a concentração de nutrientes, ajustada via condutividade elétrica (CE), é importante informação a ser determinada no cultivo da batata (Chang et al. 2005, Chang et al. 2011); ainda, espera-se que as cultivares apresentem respostas distintas à CE ótima, uma vez que são geneticamente distintas, apresentando ciclo, morfologia e exigência nutricional distintas (Chang et al. 2011).

Além do manejo nutricional (CE), o manejo cultural também é fundamental para otimizar a produtividade, sendo a densidade de plantas de suma importância (Santos e Rodriguez 2008) e utilizada para diversas espécies vegetais, como milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.) e batata (Weber 1965, Wurr et al. 1993, Cox 1997). O aumento da densidade pode otimizar a interceptação de radiação solar. Porém, caso o adensamento seja excessivo pode prejudicar o desenvolvimento das plantas pelo efeito de sombreamento. Assim, o adensamento deve ser adotado com cautela, levando-se em consideração dois fatores: a competição intraespecífica das plantas, especialmente por luz; e o elevado custo de aquisição das plântulas (Factor et al. 2016). Em outras palavras, o maior uso de plântulas pode afetar o desempenho técnico e econômico do cultivo em aeroponia.

Dessa forma, as hipóteses deste trabalho são que as CE's da solução nutritiva podem afetar o crescimento e produção de batata-semente, sendo possível que os valores ótimos de CE sejam diferentes entre as cultivares. Ademais, é possível que a densidade de plantas otimize a produção no sistema aeropônico, viabilizando o cultivo do ponto de vista técnico e econômico.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: i) verificar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva sobre o crescimento e produção de minitubérculos de batata-semente, de duas cultivares, no outono/inverno e ii) verificar o efeito da densidade de plantas sobre a viabilidade técnica e econômica da produção de batata-semente em aeroponia.

Material e métodos

Local, sistema aeropônico e material de cultivo – O experimento foi realizado no período de abril a junho de 2015 (outono/inverno), em área experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Nordeste Paulista (21°26'52.51"S e 46°59'07.89"O, 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 as condições comerciais de produção segundo Calori et al. (2014) (Figura 1). O sistema foi instalado no interior de uma estrutura de ambiente protegido (sem controle climático) do tipo arco, com 8,0 x 21,0 m (168,0 m²), 4,0 m de altura de pé-direito e antecâmara de 3,0 m de aresta, coberto com filme de polietileno aditivado com 150,0 µm de espessura e tela anti-afídeos nas laterais.

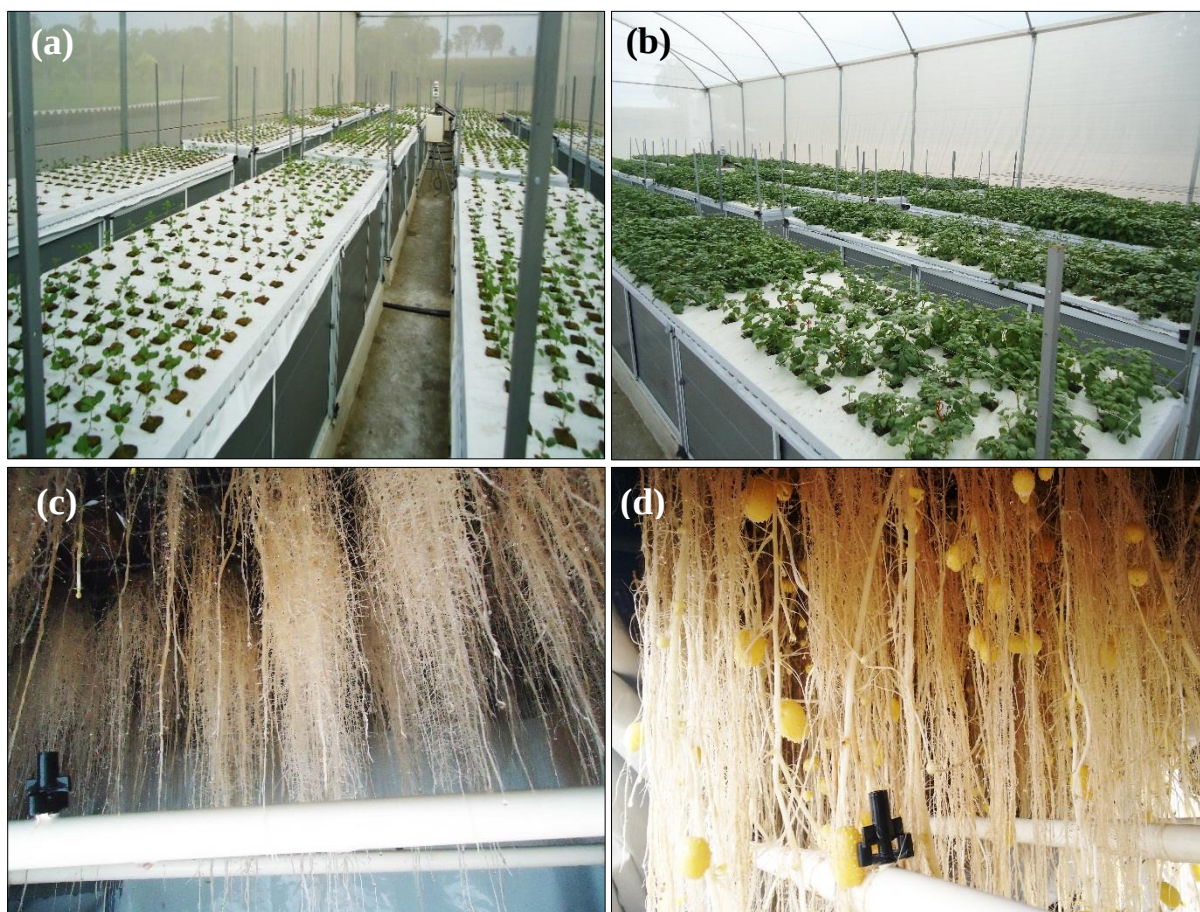


Figura 1 – Vista superior das caixas de cultivo com ‘Ágata’ e ‘Asterix’ em produção (a, b) e vista interior das caixas de cultivo, exibindo as raízes (c, d), os estolões e os tubérculos (d). IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.

Ágata (BM 52.72 x Sirco) e Asterix (Cardinal x SVP Ve 70-9) foram as cultivares escolhidas por consistirem nos principais genótipos cultivados no país para o mercado *in natura* e de pré-frita congelada, respectivamente (Silva et al. 2014). Para essas cultivares, o método de propagação foi o de plântulas.

As plântulas das cultivares, provenientes do cultivo de meristemas em laboratório (Centro de Horticultura/Instituto Agrônômico), foram transplantadas com idade de 20 dias após repicagem, altura média de 5,0 cm e duas folhas. O transplante foi realizado no dia 01 de abril de 2015, em espuma fenólica (0,05 x 0,05 x 0,05 m) e aclimatadas em bancadas do tipo *floating*. As bancadas foram cobertas com tela de sombreamento (30%), de maneira a simular um mini telado (dimensões de 3,0 x 3,0 x 2,0 m). Essa estrutura de aclimação permitiu um melhor enraizamento das plântulas para a realização transplante definitivo. O transplante definitivo para o sistema aeropônico foi realizado 15 dias após a colocação das plântulas na espuma, ou dias após o transplante (DAT).

Temperatura – Foram registrados os valores médios de temperatura do ar (°C), com miniestação meteorológica (2470, Spectrum). Os sensores foram posicionados no centro da estrutura, a 1,5 m de altura.

Delineamento experimental – O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, num total de quatro repetições. Cada parcela (4,4 m²) foi composta por uma das quatro CE's da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹). Na subparcela (1,1 m²) foram dispostas as quatro densidades de plantio (25, 44, 66 e 100 plantas m⁻²), compostas pelos espaçamentos entre plantas de 0,2 x 0,2; 0,15 x 0,15; 0,1 x 0,15 e 0,1 x 0,1 m. Para as cultivares de batata (Ágata e Asterix) foram feitas ensaios independentes.

Manejo da solução nutritiva – A solução nutritiva utilizada foi aquela recomendada para o cultivo de batata-semente, proposta por Factor et al. (2007), com a seguinte concentração de nutrientes: 145 (NO₃⁻), 29 (NH₄⁺), 40 (P), 295 (K), 162 (Mg), 40 (S), 64 (Fe), 2,0 (Zn), 0,3 (Mn), 1,0 (B), 0,3 (Cu), 0,05, e 0,05 (Mo) mg L⁻¹ e CE de aproximadamente 2,0 dS m⁻¹. A partir desta solução, três concentrações adicionais foram preparadas, calculadas por coeficientes de 0,5; 1,5 e 2,0 a partir da solução original (2,0 dS m⁻¹), para obter as diferentes soluções estudadas (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 dS m⁻¹).

A CE foi medida diariamente (HI 98130, Hanna) e corrigida diariamente às 8:00 h quando os valores se situaram acima ou abaixo, em 0,1 dS m⁻¹, do valor inicial da CE. No primeiro caso, a correção foi feita mediante à 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 mantido no intervalo entre 5,5 a 6,5, mediante à adição de ácido sulfúrico 6N ou de hidróxido de sódio 1N. A renovação total das soluções foi realizada a cada 20 dias.

Características analisadas – Foram avaliadas as características da planta: a) teor foliar de nutrientes (g kg^{-1}); b) altura (ALT) (cm); c) número de hastes planta⁻¹ (NH); d) número de folhas planta⁻¹ (NF). Para as características de produção de minitubérculos avaliou-se: e) número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP) e f) número de minitubérculos m^{-2} (NMTM2).

Para avaliação do estado nutricional, a amostragem de folhas (a) foi realizada aos 30 DAT, segundo recomendação de Lorenzi et al. (1997). As amostras foram colocadas em estufa de circulação de ar forçada, moídas e submetidas para determinação química de N, P, K, Ca, Mg e S (Laboratório de análises químicas do Instituto Agronômico). As demais características da planta (b, c, d) foram mensuradas do início do transplante até o máximo desenvolvimento da parte aérea, com periodicidade quinzenal. As características dos minitubérculos (e, f) foram avaliadas a cada sete dias, a partir do início da tuberização, que ocorreu aos 30 DAT para ‘Ágata’ e aos 39 DAT para ‘Asterix’. Adotou-se a colheita dos minitubérculos com 30 mm de diâmetro transversal, conforme recomendação de Medeiros et al. (2002).

Análise econômica – 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 plantas m^{-2}) e para ambas as cultivares, de acordo com Mateus-Rodriguez et al. (2013). Os principais indicadores econômicos de fluxo de caixa utilizados foram a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido (VPL), *payback* simples (PBS) e descontado (PBD), e o índice de retorno marginal (IRM). Para a composição do fluxo de caixa foi considerado como saídas de caixa todos os dispêndios com investimentos, materiais de consumo e mão de obra. Como entradas de caixa, considerou-se a receita de venda dos minitubérculos, com preço de comercialização de R\$ 0,50 a unidade. A vida útil do projeto foi estimada em sete anos e a taxa mínima de atratividade considerada de 10% a.a.

Análise estatística – Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste F ($p < 0,01$). 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 e o significado biológico da equação. Para comparação dos valores médios 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 (R Development Core Team 2008). Para determinação da regressão utilizou-se o software ‘Curve Expert’ versão 2.6.3 (Hyams 2010) e para confecção dos gráficos utilizou-se ‘Origin Pro’ versão 8.5 (OriginLab, Northampton, MA).

Resultados e discussão

Ciclo de cultivo, temperatura e início da tuberização - O período total do experimento foi de 82 DAT para 'Ágata' e 89 DAT para 'Asterix' (Figura 2 a). Os ciclos de cultivo verificados ficaram abaixo dos observados por Farran e Mingo-Castel (2006) e Ritter et al. (2001), que mencionaram prolongamento do ciclo em aeroponia. Nesta pesquisa, o encurtamento do ciclo vegetativo observado deve-se, possivelmente, as temperaturas elevadas, que segundo Levy e Veilleux (2007) podem reduzir o ciclo da cultura. Neste ensaio, altas temperaturas foram observadas nos primeiros dias de cultivo (15 a 45 DAT), com valores acima de 20°C para temperaturas noturnas (Figura 2 b). De acordo Singh et al. (2015), na faixa de temperatura noturna de 20 a 25°C pode haver atraso e/ou redução da tuberização. Porém, nesta pesquisa, não foi observado atraso na emissão de tubérculos, com 30 DAT para 'Ágata' e 39 DAT para 'Asterix' (Figura 2 a). Esses valores foram próximos aos observados (26 a 53 DAT) por Chang et al. (2012) em aeroponia.

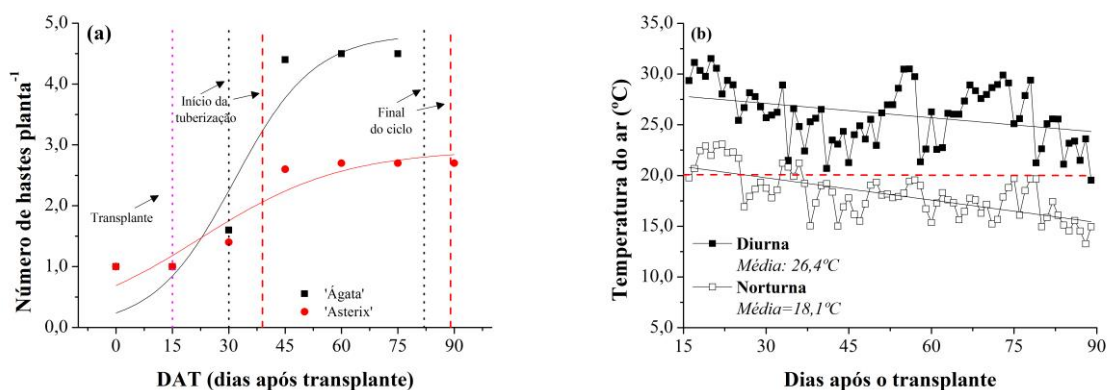


Figura 2 – Ciclo de cultivo para 'Ágata' e 'Asterix'; linhas pontilhadas pretas são marcações da 'Ágata' e linhas tracejadas vermelhas são marcações da 'Asterix' (a). Temperatura do ar (°C) para o outono/inverno no interior do ambiente protegido. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.

Para ambos os tratamentos avaliados (CE e densidade de plantas) não houve interação significativa para todas as características avaliadas. Dessa forma, os efeitos dos tratamentos foram apresentados separadamente.

Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva nos teores foliares de nutrientes – Para as duas cultivares, a maioria dos teores de nutrientes no tecido foliar, avaliados aos 30 DAT, foram significativamente ($p < 0,01$) influenciados pela CE, ajustando-se a um modelo sigmoidal de regressão, com exceção de cálcio (Ca – 'Asterix'), magnésio (Mg –

‘Ágata’) e enxofre (S – ‘Asterix’), que apresentaram ajuste polinomial quadrático (Figura 3 d, e, f).

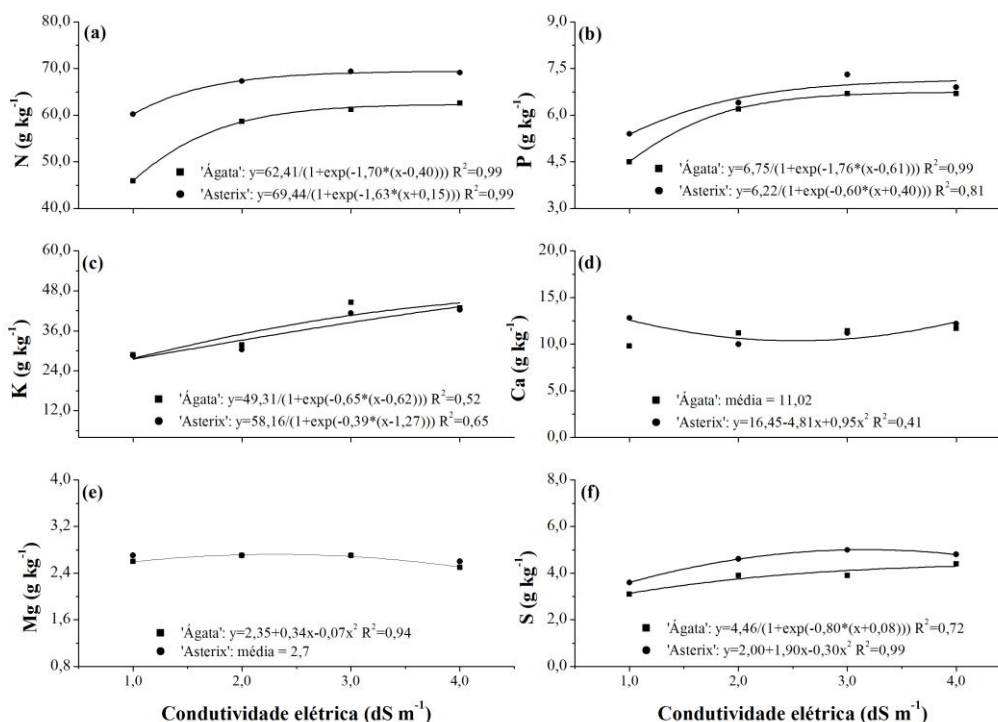


Figura 3 – Teores foliares de nutrientes em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para duas cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.

Esperava-se que o teor de K diminuísse com o aumento do teor de N, sustentando a função do primeiro como contra íons inorgânicos de cloreto e nitrato em condição de estresse osmótico (Epstein e Bloom 2006), como observado por Calori et al. (2017). Essas observações sugerem não ter ocorrido severo estresse osmótico nas maiores CE's, visto os teores crescentes de N e K (Figura 3 a, c). De outra forma, o aumento do teor de K pôde ter contribuído para o aumento do teor de N, visto o papel do primeiro, quando em níveis adequados (Fageria 2001), como auxiliar no transporte de NO_3^- (Blevins 1985). Nesta pesquisa, para ambas as cultivares, nas maiores CE's (3,0 e 4,0 dS m⁻¹), os teores de K estiveram dentro do recomendado por Lorenzi et al. (1997) (40 a 65 g kg⁻¹). Nos trabalhos de Chang et al. (2011) os autores também observaram incremento nos teores foliares de N e K com o aumento da CE, corroborando com os resultados da presente pesquisa.

Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento das plantas –

Para todas as características avaliadas (ALT e NF), com exceção da NH, houve efeito

significativo da CE ($p < 0,01$) da solução nutritiva em ambas as cultivares, ajustando-se ao modelo de regressão polinomial quadrático (Figura 4).

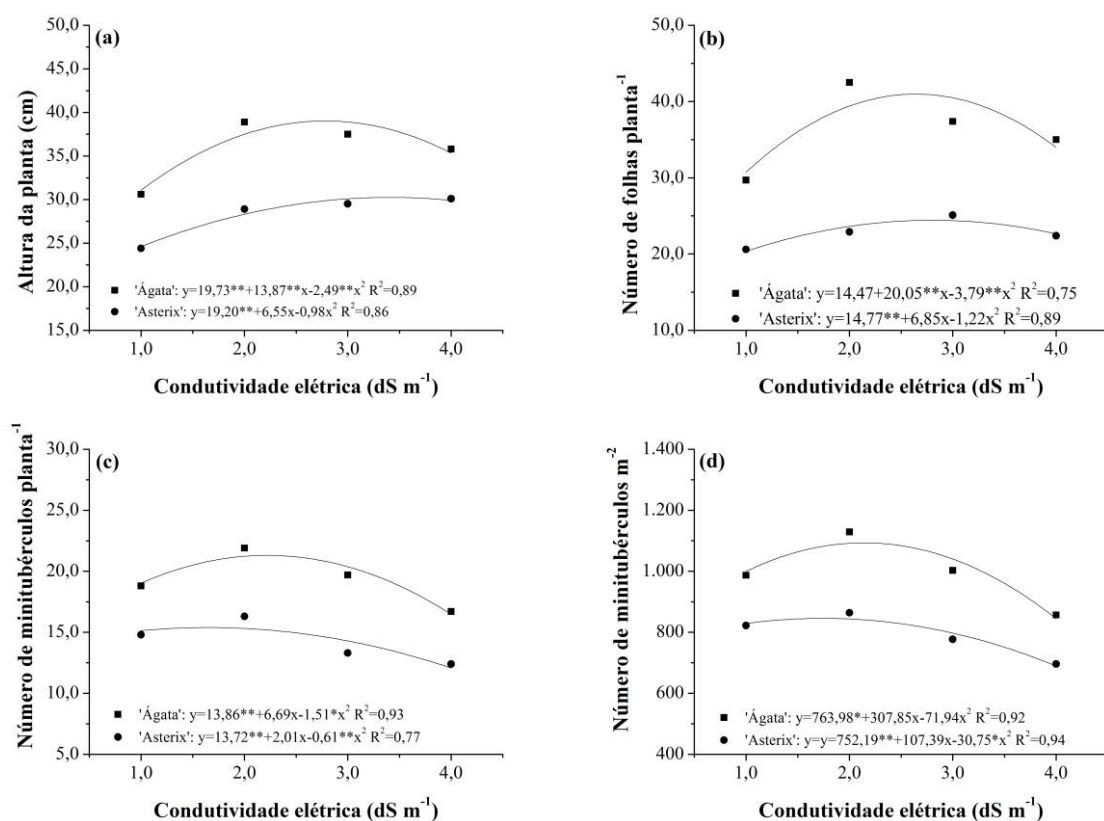


Figura 4 – Altura da planta (a), número de folhas planta⁻¹ (b), número de minitubérculos planta⁻¹ (c) e número de minitubérculos m⁻² (d) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva para as cultivares de batata Ágata e Asterix cultivadas em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.

Para ‘Ágata’, os maiores valores de ALT (39,0 cm) e NF (41,0) foram observados nas CE’s de 2,8 e 2,6 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 4 a, b). Para ‘Asterix’, os valores máximos de ALT (29,9 cm) e NF (25,5) foram observados em CE’s de 3,1 dS m⁻¹ e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 4 a, b). O maior desenvolvimento vegetativo observado em maiores CE’s está de acordo com o mencionado por Barry (1996), onde o autor menciona que culturas produzidas em hidroponia apresentaram parte vegetativa mais vigorosa em CE’s elevadas. Para ambas as cultivares, o maior crescimento da parte aérea foi observado em CE’s de 2,6 a 3,1 dS m⁻¹, que são superiores as recomendadas por Rolot e Seutin (1999), Wheeler (2006) e Factor et al. (2007), que observaram resultados ótimos de produção entre 1,7 a 2,2 dS m⁻¹. Nesta pesquisa, maior crescimento vegetativo observado em maiores CE’s pode ser atribuído ao maior

suprimento de nutrientes (Figura 3 a, b, c); constatação que também foi observada por Calori et al (2017) em seus estudos no inverno/primavera.

Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva na produção de minitubérculos – Referente a produção de minitubérculos para ‘Ágata’, os maiores valores de NMTP (21,3) e NMTM2 (1.093) foram observados em CE’s de 2,2 e 2,1 dS m⁻¹, respectivamente. Para ‘Asterix’, os maiores valores de NMTP (15,5) e NMTM2 (846) foram verificados na CE de 1,7 dS m⁻¹ (Figura 4 c, d). Essas CE’s que proporcionaram melhores resultados de produção estão de acordo com as observadas por Rolot e Seutin (1999), Wheeler (2006) e Factor et al. (2007), e diferente da observada (1,0 dS m⁻¹) por Novella et al. (2008). Ainda, ressalta-se que essas CE’s (1,7 a 2,2 dS m⁻¹) foram inferiores àquelas que promoveram um maior desenvolvimento vegetativo (2,6 a 3,1 dS m⁻¹), reforçando a hipótese que a CE influência de forma diferenciada o crescimento vegetativo e a produção da cultura da batata (Chang et al. 2005, Chang et al. 2011), bem como a translocação de fotoassimilados.

Embora as características tenham sido avaliadas em função da concentração de nutrientes da solução nutritiva, o maior desenvolvimento vegetativo observado em CE’s elevadas (3,0 e 4,0 dS m⁻¹) pode estar associado ao metabolismo do nitrogênio (N). O excesso de N na ocasião da tuberização pode favorecer o crescimento vegetativo (Errebhi et al. 1999) e prejudicar a iniciação e o enchimento dos tubérculos (Oparka et al. 1987, Goins e Yorio 2004). Nesta pesquisa, as plantas cultivadas em CE’s elevadas apresentaram maiores teores foliares de N (Figura 3 a), reforçando essa possibilidade, assim como observados por Chang et al. (2011). Porém, para a correta averiguação do efeito do N na tuberização, é necessário o desenvolvimento de ensaio específico com redução de N da solução nutritiva em um dado momento específico, preferencialmente após o suficiente desenvolvimento vegetativo e próximo ao início da tuberização, como sugerido por Chang et al. (2008).

Efeito da densidade de plantas no crescimento das plantas – Houve efeito significativo da densidade de cultivo sobre a altura da planta (ALT) e no número de folhas (NF) para ambas as cultivares (Tabela 1). As maiores médias de ALT foram observadas na densidade de 100 plantas m⁻², tanto para ‘Ágata’ (40,0 cm), quanto para ‘Asterix’ (31,0 cm) (Tabela 1). Porém, efeito inverso foi observado para o NF, sendo os maiores valores para ‘Ágata’ (38,9) e ‘Asterix’ (25,7) observados na menor densidade de plantas (25 plantas m⁻²) (Tabela 1). O efeito inverso observado entre ALT e NF pode ser atribuído ao adensamento de cultivo, ou seja, na medida em que se aumentou a densidade de plantas, possivelmente ocorreu uma maior competição entre as plantas, sobretudo por luz, sendo a maior parte dos fotoassimilados destina

para a elongação da haste (ALT em Tabela 1), em detrimento da emissão de folhas (Oliveira 2000). Efeito semelhante foi verificado por Dellai et al. (2005) em condições de cultivo no solo.

Efeito da densidade de plantas na produção de minitubérculos – O número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP) e número de minitubérculos m⁻² (NMTM2) também foram influenciados pela densidade de plantas (Tabela 1). Os maiores valores de NMTP para ‘Ágata’ (26,3) e ‘Asterix’ (18,0) foram verificados na densidade de 25 plantas m⁻². Por outro lado, os maiores valores de NMTM2 para ‘Ágata’ (1.303) e ‘Asterix’ (1.128) foram observados na maior densidade (100 plantas m⁻²) (Tabela 1). Efeito semelhante foi verificado por Abdullateef et al. (2012) em aeroponia, Santos e Rodrigues (2008) em vasos, Kim et al. (2008) e Corrêa et al. (2007) em caixas contendo substratos. Contudo, há de se ressaltar, que o adensamento de cultivo é benéfico até o momento em que não há competição elevada e prejuízo ao desenvolvimento da planta (Choairy e Fernandes 1983) e, conseqüentemente, redução da produtividade; fato esse não observado no presente trabalho (NMTM2 em Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios para altura da planta (ALT), número de hastes planta⁻¹ (NH), número de folhas planta⁻¹ (NF), número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP) e número de minitubérculos m⁻² (NMTM2) em função da densidade de plantas para ‘Ágata’ e ‘Asterix’, cultivadas em sistema aeropônico no outono/inverno. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.

Densidade (plantas m ⁻²)	Parte aérea			Minitubérculos	
	ALT (cm)	NH --	NF --	NMTP --	NMTM2 --
----- ‘Ágata’ -----					
100	40,0 a ^a	4,1	33,0 b	13,0 d	1.303 a
66	36,2 b	4,6	35,5 ab	16,0 c	1.058 b
44	35,6 b	4,7	37,2 ab	21,8 b	958 b
25	31,1 c	4,7	38,8 a	26,3 a	657 c
Média	35,7	4,5	36,1	19,3	994
DMS ^b	3,1	0,7	2,4	3,0	147
CV ^c	9,2	17,5	5,4	16,3	15
----- ‘Asterix’ -----					
100	31,0 a	2,5	20,2 b	11,3 c	1.128 a
66	27,7 b	2,6	21,8 ab	12,9 bc	853 b
44	26,8 b	2,8	24,2 ab	14,7 b	645 c
25	25,6 b	3,0	25,7 a	18,0 a	449 d
Média	28,6	2,7	23,9	14,2	790
DMS	3,2	0,8	5,4	2,1	125
CV	12,0	30,7	24,7	15,5	17

^a: médias acompanhadas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\leq 0,05$); ^b: desvio médio significativo; ^c: coeficiente de variação.

Ainda, é importante destacar que só houve viabilidade econômica na maior densidade de plantas (100 plantas m⁻²) tanto para ‘Ágata’, quanto para ‘Asterix’, com valores de TIR na ordem de 16 e 10%, respectivamente (Tabela 2). Para ‘Ágata’, os valores máximos de TIR

ficaram abaixo em cerca de 60% dos obtidos por Calori et al. (2017) no inverno/primavera; enquanto que para ‘Asterix’, os valores máximos observados ficaram abaixo em cerca de 20%. Nesta pesquisa, para esta última cultivar, o período de recuperação do capital (*payback* descontado) ficou bem próximo (~5 anos) da máxima vida útil do projeto (7 anos) (Tabela 2). No entanto, vale ressaltar que os valores dos indicadores econômicos mostrados (Tabela 2) são referentes a um ciclo de cultivo por ano. Nas condições onde foram desenvolvidas esta pesquisa é possível se produzir dois ciclos anuais, o que otimizaria a rentabilidade do projeto.

Nas condições desta pesquisa, mediante os resultados de produção (NMTM2) (Tabela 1) e financeiros obtidos (Tabela 2), acredita-se que exista a possibilidade de se estudar densidades superiores a 100 plantas m⁻², com o objetivo de aumentar a produtividade e maximizar os retornos econômicos. Porém, novos estudos precisam ser conduzidos para testar essa hipótese.

Tabela 2 – Indicadores econômicos em função da densidade de plantas para as cultivares Ágata e Asterix, cultivadas em aeroponia no outono/inverno. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2015.

Indicadores econômicos	Densidade (plantas m ⁻²)			
	100	66	44	25
‘Ágata’				
TIR ¹ (%) - 10% a.a.	16%	9%	8%	-2%
VPL ² (US\$)	24.286,10	14.446,03	11.424,50	-3.513,35
PBS ³ (anos)	2,9	3,5	3,7	5,5
PBD ⁴ (anos)	4,1	4,9	5,2	7,8
IRM ⁵ (%)	168%	126%	1.325%	-
‘Asterix’				
TIR (%) - 10% a.a.	10%	2%	-5%	-11%
VPL (US\$ ⁶)	14.804,93	2.236,13	-6.861,46	-15.515,13
PBS (anos)	3,5	4,6	6,1	8,7
PBD (anos)	4,9	6,6	8,8	13,0
IRM (%)	662%	133%	44%	-

¹TIR: taxa interna de retorno; ²VPL: valor presente líquido; ³PBS: *payback* simples; ⁴PBD: *payback* descontado a 10% a.a.; ⁵IRM: índice de retorno marginal, calculado com base no VPL e ⁶ US\$ 1,00 no valor de R\$ 3,17, cotação realizada em 24/01/2017.

Conclusão

As CE’s da solução nutritiva que proporcionaram maior produção de minitubérculos foram de 2,1 para ‘Ágata’ e de 1,7 dS m⁻¹ para ‘Asterix’. Referente à densidade de plantas, para ambas as cultivares, a que proporcionou a maior viabilidade técnica e econômica 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 FAPESP (Processo - 12/50786-8), pelo auxílio pesquisa do projeto.

Referências

Abdullateef, S.; Bohme, M. H.; & Pinker, I. (2012). Potato minituber production at different plant densities using an aeroponic system. *Acta Horticulturae*, 927, 429-436. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.53>.

Albornoz, F., Lieth, J. H., & Gonzalez-Fuentes, J. A. (2014). Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO_3^- content of aeroponically grown lettuce. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74, 240-245. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000200017>.

Barak, P., Smith, J. D., Krueger, A. R., & Peterson, L. A. (1996). Measurement of short-term nutrient uptake rates in cranberry by aeroponics. *Plant, Cell & Environment*. 19, 237–242. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00246.x>.

Barry, C. (1996). *Nutrients: The handbook to hydroponic nutrient solutions*, Australia: Casper.

Blevins, D. G. (1985). Role of Potassium in Protein Metabolism in Plants. In *Potassium in Agriculture*; Munson, R. D. (Ed.). American Society of Agronomy: Madison, WI, 131-162.

Buckseth, T., Sharman, A. K., Pandey, K. K., Singh, B. P., & Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics - A review. *Scientia Horticulturae*, 204, 79–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.041>.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C. & Purquerio, L. F. V. (2014). Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, 64-66, 43-51.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Moraes, C. S., & Purquerio, L. F. V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.022>.

Chang, D.C., C.S. Park, J.G. Lee, J.H. Lee, J.M. Son, & Lee, Y. B. (2005). Optimizing electrical conductivity and pH of nutrient solution for hydroponic culture of seed potatoes (*Solanum tuberosum*). *Journal of Korean Society of Horticultural Science*, 46, 26–32.

Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y., Kim, S. J., & Lee, Y. B. (2008). Physiological growth responses by nutrient interruption in aeroponically grown potatoes. *American Journal of Potato Research*, 85, 315–323. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9510-z>.

Chang, D. C., Cho, I. C., Suh, J. T., Kim, S. J., & 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. & 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>.

Choiry, S. A., & Fernandes, P. D. (1983). Densidade de plantio na cultura do abacaxi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18, 985-988.

Christie, C. B., & Nichols, M. A. (2004). Aeroponics – a production system and research tool. South Pacific Soilless Culture Conference. *Acta Horticulturae*, 648, 185–190. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.22>.

Corrêa, R. M., Pinto, J. E. B. P., Reis, E. S., Monteiro, A.B., Pinto, C. A. B. P., & Faquim, 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>.

Cox, W. J. (1997). Corn silage and grain yield responses to plant densities. *Journal Production Agriculture*, 10, 405–410. <https://dx.doi.org/10.2134/jpa1997.0405>.

Dellai, J., Trentin, G., Bisognin, D. A., & 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., & Bloom, A. (2006). *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta.

Errebhi, M., C. J., Rosen, F., Lauer, Martin, M. W., & Bamberg, J. B. (1999). Evaluation of tuber-bearing *Solanum* species for nitrogen use efficiency and biomass partition. *American Journal of Potato Research*, 76, 143-515. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02853579>.

Factor, T. L., Calori, A. H., Purquerio, L. F. V., Feltran, J. C., & Watanabe, E. Y. (2016). Novo sistema de Aeroponia para a produção de minitubérculos de batata-semente no Brasil: II - Produção. *Batata Show*, 16, 36-39.

Fageria, V. D. (2001). Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1269-1290. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN100106981>.

Farran, I., & 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>.

Goins, G. D., & 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.

Hayden, A. L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome and root crops. *HortScience*, 41, 536–538.

Hyams, D. G. (2010). CurveExpert software. <http://www.curveexpert.net>. Acesso em 23 mar. 2017.

Kim, C. W., Song, C. K., Park, J. S., Mun, H. K., Kang, Y. K., & 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.

Komosa, A., Kleiber, T., & Markiewicz, B. (2014). The effect of nutrient solutions on yield and macronutrient status of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in aeroponic and rock wool culture with or without recirculation of nutrient solution. *Acta Scientiarum Polonorum*, 13, 163-177.

Levy, D., & Veilleux, R. E. (2007). Adaptation of Potato to High Temperatures and Salinity - A Review. *American Journal of Potato Research*, 84, 487-506. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987885>.

Lommen, W. J. M. (2007). The canon of potato science: 27. Hydroponics. *Potato Research*, 50, 315-318. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-008-9053-x>.

Lorenzi, J. O., Monteiro, D. A., Miranda Filho, H. S., & Raij, B. van. (1997). Raízes e Tubérculos: Composição mineral, amostragem e diagnose foliar. In: Raij, B. V., Cantarella, H., Quaggio, J.A., & Furlani, A.M.C. (Eds.). 2. Boletim Técnico 100. Campinas: IAC.

Mateus-Rodríguez, J., Haan, S., Barker, I., Chuquillanqui, C., & Rodríguez-Delfín, A. (2012). Response of Three Potato Cultivars Grown in a Novel Aeroponics System for Mini-Tuber Seed Production. *Acta Horticulturae*, 947. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.46>.

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., & Benítez, J. (2013). Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America. *American Journal of the Potato Research*, 90, 357-368. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9312-5>.

Medeiros, C. A. B., Ziemer, A. H., Daniels, J. & 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>.

Novella, M. B., Andriolo, J. L., Bisognin, D. A., Cogo, C. M., & 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. da 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., & 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.

R Development Core Team. (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>. Acesso em 23 mar. 2017.

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, J., Relloso, J., & 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., & Seutin, H. (2002). Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. *Potato Research*, 42, 457-469. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02358162>.

Santos, B. M., & Rodriguez, P.R. (2008). Optimum In-Row Distances for Potato Mini Tuber Production. *Hortechology*, 18, 403-406.

Silva, G. O., Bortoletto, A. C., Ponijaleki, R., Mogor, A. F., & Pereira, A. S. (2014). Desempenho de cultivares nacionais de batata para produtividade de tubérculos. *Revista Ceres*, 61, 752-756. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050020>.

Singh, A., Siddappa, S., Bhardwaj, V., Singh, B., Kumar, D., & Singh, B. P. (2015). Expression profiling of potato cultivars with contrasting tuberization at elevated temperature using microarray analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 97, 108-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.09.014>.

Tierno, R., Carrasco, A., Ritter, E. & Galarreta, J. I. R. (2014). Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *American Journal Potato Research*, 91, 346-353. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>.

Weber, C. R., Shibles, R. M., & Byth, D. E. (1965). Effect of Plant Population and Row Spacing on Soybean Development and Production. *ACESSES*, 58, 99-102. <https://doi.org/10.2134/agronj1966.00021962005800010034x>.

Wheeler, R. M. (2006). Potato and human exploration of space: some observations from NASA-sponsored controlled environment studies. *Potato Research*, 49, 67-90. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-006-9003-4>.

Wurr, D. C. E., Fellows, J. R., & Allen, E. J. (1993). An approach to determining optimum tuber planting densities in early potato varieties. *Journal Agricultural Science*, 120, 63–70. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073597>.

Yeo, K. H., Lee, J. H., & Lee, Y. B. (2013). Determination of optimal levels of Ca and Mg for single-stemmed roses grown in closed aeroponic system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54, 510-518. <http://dx.doi.org/doi:10.1007/s13580-013-0134-7>.

CAPÍTULO 4

Efeito da concentração de nitrogênio da solução nutritiva sobre a planta e produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia

Efeito da concentração de nitrogênio da solução nutritiva sobre a planta e produção de minitubérculos de batata-semente em aeroponia

Alex Humberto Calori ¹, Thiago Leandro Factor ², José Carlos Feltran ¹, Humberto Sampaio de Araújo ³, Luis Felipe Villani Purquerio ¹

¹Instituto Agronômico, Centro de Horticultura, Campinas-SP, ahcalori@gmail.com, feltran@iac.sp.gov.br, felipe@iac.sp.gov.br; ²Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Nordeste Paulista, Mococa-SP, factor@apta.sp.gov.br; ³APTA, Polo Regional Extremo Oeste, Andradina-SP, humbertosaraujo@apta.sp.gov.br.

Resumo

A redução de nitrogênio (N) pode afetar o acúmulo de biomassa da planta e a produção de minitubérculos de batata-semente, podendo o efeito do N ser diferente entre cultivares. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de concentrações de nitrogênio na solução nutritiva, visando a redução no fornecimento desse nutriente, sobre as características de crescimento de plantas e produtividade, de duas cultivares de batata (Ágata e Asterix), em sistema aeropônico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas. A parcela foi composta pelo ciclo de cultivo (47, 62, 77 e 92 dias após o transplante) e a sub-parcela foi composta pelas concentrações de N (141,2; 106,2; 71,2 e 36,2 mg L⁻¹) para as batatas ‘Ágata’ e ‘Asterix’, num total de quatro blocos. Para ‘Ágata’, a redução de N não afetou o acúmulo de biomassa pela planta, mas aumentou a produção de minitubérculos em 17% com concentração de N de 73,3 mg L⁻¹ em relação a solução de 141,2 mg L⁻¹ (completa em N). Para ‘Asterix’, a redução de N afetou o acúmulo de biomassa pela planta, porém não influenciou a produção de minitubérculos.

Palavras-Chave: *Solanum tuberosum* L., ambiente protegido, cultivo sem solo, hidroponia, nutrição de plantas.

Effect of nitrogen concentration of nutrient solution on shoot growth and seed potato production in aeroponic system

Abstract

The nitrogen (N) reduction can affect the biomass accumulation on plants and the seed potato production; also, the effect of N may be cultivar-specific. Thus, the objective of this work was verify the effect of nitrogen concentrations of nutrient solution, with focus on reduction, on the shoot growth development and seed potato production of two cultivars (Ágata and Asterix) in aeroponic system. The experimental design was a randomized block in a split-plot design. The growing cycle assessment (47, 62, 77 and 92 days after transplant) were placed in each plot and the N concentrations (141.2, 106.2, 71.2 and 36.2 mg L⁻¹) were set on sub-plot for 'Agata' and 'Asterix', making a total of four blocks. For 'Agata', the N concentration did not change the biomass accumulation on plants, but enhanced the potato production in 17% (73.3 mg L⁻¹) when it was compared to control solution (141.2 mg L⁻¹). However, for 'Asterix', the N concentration did affect the biomass accumulation, but no gain in minituber production was observed.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., greenhouse, hydroponic, plant nutrition, soilless cultivation.

Introdução

Tubérculos de batata (*Solanum tuberosum*, L.) são importantes fontes de amido para a indústria (Gao et al. 2014) e de alimento para a humanidade, sendo o quarto em volume de produção (FaoStat 2015). Os tubérculos são órgãos subterrâneos que se diferenciam no ápice dos estolões e servem, do ponto de vista biológico, como meio de propagação vegetativa, bem como reserva energética para futuras plantas (Bou-torrent et al. 2011). O processo biológico pelo qual os tubérculos são formados é conhecido como tuberização.

Na tuberização ocorrem várias etapas, desde a formação e desenvolvimento dos estolões, indução e início da tuberização até o desenvolvimento do tubérculo (Ewing et al. 2010, Aksenova et al. 2012). Essas etapas são afetadas, em diferentes níveis, por fatores externos, como fotoperíodo (Rodríguez-Falcón et al. 2006), temperatura (Levy e Veilleux 2007), carboidratos (Baroja-Fernández et al. 2009) e suprimento de nitrogênio (N) (Oparka et al. 1987), entre outros.

O N é comumente aceito como o um dos nutrientes mais abundante nas plantas, sendo a sua deficiência grande limitadora do crescimento vegetativo e da produção de batata (Goins et al. 2004, Gao et al. 2014). Contudo, o excesso de N pode prejudicar a cultura, especialmente na fase de tuberização, atrasando seu início (Krauss e Marschner 1982, Sarkar e Naik 1998). Em condições de excesso N, o fato mais notório é que os fotoassimilados são particionados para as regiões de crescimento foliar (Oparka et al. 1987), retardando o enchimento dos tubérculos e prolongando o ciclo da cultura (Farran e Mingo-Castel 2006). De outro modo, sabe-se que o N também afeta a razão ácido abscísico/giberelina (ABA/GA) na planta, e com isso altera-se a tuberização (Krauss 1978). O excessivo suprimento de N pode estimular a síntese de GA e promover o crescimento de hastes e estolões, em detrimento de tubérculos.

Recentemente, de modo a contornar os efeitos negativos do N sobre a tuberização da batata, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos com enfoques diferentes: na interrupção ou na redução do fornecimento de N próximo ao final do crescimento vegetativo e início da tuberização (Silva et al. 2013, Darvishi et al. 2015, Oraby et al. 2015, Chang et al. 2016).

Contudo, o manejo do N, especialmente a redução, necessita ser melhor explorado. Mais detalhes são essenciais porque a resposta ideal da planta à redução de N pode depender da especificidade das cultivares. Normalmente, cultivares precoces demandam mais N nas fases iniciais de cultivo em comparação com as tardias e, portanto, pressupõe-se que a magnitude da redução possa impactar de forma diferenciada os materiais. Isto posto, a hipótese da presente pesquisa é que a redução de N pode afetar o acúmulo de biomassa da planta e a produção de minitubérculos de batata-semente, podendo o efeito do N ser diferente entre cultivares.

Assim, o objetivo deste trabalho foi o de verificar o efeito da redução da concentração de nitrogênio na solução nutritiva, próxima ao início da tuberização, sobre as características de crescimento de plantas e produtividade, de duas cultivares de batata, em sistema aeropônico.

Material e métodos

Local, sistema aeropônico e material de cultivo – O experimento foi realizado no período de abril a julho de 2016 (outono/inverno), em área experimental da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional Nordeste Paulista (21°26'52.51"S e 46°59'07.89"O, altitude: 661 m), no município de Mococa, Estado de São Paulo, Brasil.

No interior de uma estufa agrícola (sem controle climático), do tipo arco (168 m²), foi instalado o sistema aeropônico. O sistema adotado foi inicialmente descrito por

Factor et al. (2007), porém adaptado para condições comerciais de produção segundo Calori et al. (2014). Esse foi composto por sistema de nebulização, com emissores do tipo *fogger* (14 L h⁻¹, Naandanjain), sendo os intervalos de nebulização de 60 s ligado e 90 s desligado. A circulação da solução nutritiva foi do tipo fechada, com reaproveitamento da solução de nutrientes.

A temperatura do ar (diurna e noturna) (°C), umidade relativa do ar (%) e o fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) (mol m⁻² d⁻¹) foram monitorados no interior do ambiente protegido, por meio de miniestação meteorológica (modelo 2470, Spectrum). Também foi monitorada a temperatura do ar (°C) no interior dos módulos (caixas) de cultivo, por meio de sensores termopares, conectados a um *Datalogger* (CR10X, Campbell).

Duas cultivares de batata foram utilizadas: ‘Ágata’ (BM 52.72 x Sirco), de pele amarela, maturidade precoce, aptidão para consumo *in natura* e indicada para cozimento e ‘Asterix’ (Cardinal x SVP Ve 70-9), de pele vermelha, maturidade meio tardia e de aptidão para processamento na forma de fritura (Silva et al. 2014). Essas cultivares, no sistema aeropônico, foram propagadas por plântulas.

As plântulas provenientes de laboratório de cultura de meristemas (Centro de Horticultura – IAC/APTA), no momento da aquisição, se encontravam com idade de 15 dias após repicagem, altura de 5,0 cm e duas folhas. Essas foram transplantadas (15/04/2016) em células de espuma fenólica (5,0 x 5,0 x 5,0 cm) para um período de aclimação, que teve por objetivo favorecer o crescimento inicial das plântulas. A aclimação foi realizada em bancadas do tipo *floating* (dimensões de 3,0 x 3,0 x 2,0 m) com sistema de nebulização (4 L h⁻¹, Naandanjain) e cobertas com tela de sombreamento (30%). Quatro dias após o transplante (DAT), a tela de sombreamento foi retirada e a nebulização suspensa. A partir dos 5 DAT, as plântulas foram fertirrigadas com solução nutritiva proposta por Factor et al. (2007), porém com condutividade elétrica (CE) de 0,7 dS m⁻¹ antes de serem transplantadas em definitivo para o sistema aeropônico. O transplante definitivo foi realizado aos 17 DAT, na densidade de 100 plantas m⁻² (10 x 10 cm), conforme recomendação de Calori et al. (2017) para densidade. Na ocasião do transplante definitivo, as cultivares Ágata e Asterix apresentavam 9,0 e 7,4 cm de altura e 7,2 e 6,5 folhas planta⁻¹, respectivamente.

Aplicação dos tratamentos e manejo da solução nutritiva – Do transplante definitivo (17 DAT) até o momento da aplicação dos tratamentos se passaram 30 dias (47 DAT). Até essa data, a solução nutritiva utilizada, para as duas cultivares, foi a adaptada de Factor et al. (2007) com CE de 1,9 dS m⁻¹ (S1, controle) e completa em N (NO₃⁻+NH₄⁺ – 141,2 mg L⁻¹). O preparo da solução com CE de 1,9 dS m⁻¹ foi realizado de acordo com Furlani et al. (1999).

A aplicação dos tratamentos foi realizada aos 47 DAT. Os tratamentos foram compostos de quatro concentrações de N (CN) ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) da solução nutritiva: i) 141,2 mg L⁻¹ (S1 – 100% de N) (S1); ii) 106,2 mg L⁻¹ (S2 – 75% de N); iii) 71,2 mg L⁻¹ (S3 – 50% de N) e iv) 36,2 mg L⁻¹ (S4 – 25% de N) (Tabela 1). Em todas as soluções, a proporção $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ foi mantida em 90/10% (Chang et al. 2012) e os demais nutrientes (macro e micro) mantidos na mesma concentração para todas as soluções (Tabela 1). Após a aplicação dos tratamentos, esses foram mantidos até o final do ciclo da cultura.

Tabela 1 – Valores de nutrientes utilizados para a composição das soluções nutritivas dos tratamentos utilizados para ‘Ágata’ e ‘Asterix’ cultivadas em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Macronutrientes	S1	S2	S3	S4	Micronutrientes	mg L ⁻¹
	mg L ⁻¹					
N- NO_3^-	126,1	94,8	63,6	32,3	Fe	2,00
N- NH_4^+	15,1	11,4	7,6	3,9	Zn	0,30
N-total ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$)	141,2	106,2	71,2	36,2	Mn	1,00
P	76,9	76,9	76,9	76,9	B	0,30
K	239,7	239,7	239,7	239,7	Cu	0,05
Ca	134,8	134,8	134,8	134,8	Mo	0,05
Mg	28,9	28,9	28,9	28,9		
S	51,7	51,7	51,7	51,7		

S1: solução controle com 100% de nitrogênio (N); S2: 75% de N em relação à S1; S3: 50% de N em relação à S1 e S4: 25% de N em relação à S1.

Para o manejo nutricional, em todas as soluções, a CE foi medida diariamente por meio de um aparelho portátil e digital (Combo HI 98130, Hanna) e corrigida quando os valores medidos se situaram acima ou abaixo de 0,1 dS m⁻¹ do valor de referência de cada tratamento: CE's de 1,9 (141,2 mg L⁻¹), 1,7 (106,2 mg L⁻¹), 1,5 (71,2 mg L⁻¹) e 1,3 (36,2 mg L⁻¹) dS m⁻¹. 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 correspondente a cada solução (S1, S2, S3 e S4). O pH da solução nutritiva foi medido com o mesmo aparelho e mantido em 5,5±1,0, mediante adição de ácido sulfúrico 6N ou hidróxido de sódio 1N. As soluções dos tratamentos foram renovadas a cada 20 dias de uso.

Avaliações do crescimento vegetativo – Todas as avaliações só foram conduzidas após a aplicação dos tratamentos, que ocorreu aos 47 DAT. Para caracterizar o crescimento vegetativo foram avaliadas as seguintes características: a) massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (folhas+hastes+pecíolos) e da b) raiz (MSR) (g planta⁻¹); c) teor de nitrato no sulco celular (TN) (g kg⁻¹) (Laquatwin NO_3^- tester, Horiba) e d) índice relativo de clorofila (IRC) (SPAD-502, Minolta).

As características MSPA e MSR foram determinadas através da secagem de amostras (três plantas por parcela) em estufa com circulação forçada de ar à 60 °C até massa constante. O teor de nitrato no sulco celular e o índice relativo de clorofila foram determinados na terceira folha a partir do tufo apical entre 8:00 e 10:30 h.

Todas as características de crescimento foram avaliadas com periodicidade quinzenal, totalizando quatro avaliações ao longo do ciclo de cultivo (47, 62, 77 e 92 DAT). Esse número de avaliações foi escolhido para a construção da curva de crescimento e verificação do efeito dos tratamentos em função do ciclo de cultivo.

Avaliações da produtividade e índice de colheita – Foram avaliadas as seguintes características: e) número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP) e f) número de minitubérculos m⁻² (NMTM2); g) índice de colheita (IC), onde: IC (%) = MMFM/MFtotal, em que MMFM = massa de matéria fresca de minitubérculos (g planta⁻¹) e MFtotal = massa de matéria fresca total (folhas+hastes+raízes+minitubérculos) (g planta⁻¹).

As avaliações das características (e, f, g) foram realizadas a cada sete dias, a partir do início da tuberização (IT), determinado segundo Lyra et al. (2015). Adotou-se colher os minitubérculos na faixa de 30 mm de diâmetro transversal (Medeiros et al. 2002).

Delineamento experimental e análise estatística – O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, num total de quatro blocos. A parcela foi composta pelo ciclo de cultivo (47, 62, 77 e 92 DAT) e a sub-parcela (4,4 m²) foi composta pelas concentrações de N (141,2; 106,2; 71,2 e 36,2 mg L⁻¹). Para as cultivares Agata e Asterix foram realizados ensaios independentes. O ciclo de cultivo foi considerado como fator para verificar o efeito das concentrações de N em cada momento de avaliação. Ainda, o ciclo de cultivo foi posto na parcela por ter apresentado maior efeito sobre as características avaliadas, conforme recomendação de Banzatto e Kronka (2006).

O efeito do ciclo de cultivo e das concentrações N foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de determinação (R²) e o significado biológico da equação. O software estatístico utilizado para a análise de variância foi o ‘Project R’ versão 2.15 (R Development Core Team 2008). Para elaboração das figuras utilizou-se o ‘Origin Pro’ versão 8 (OriginLab, Northampton, MA).

Resultados e discussão

Elementos meteorológicos e ciclo de cultivo – Durante a realização do experimento (abril a julho de 2016), no interior do ambiente protegido, os valores médios de temperatura

diurna e noturna; umidade relativa do ar e fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) foram de 25,6 e 17,0 °C, 69±25% e 21,6±5 mol m⁻² d⁻¹, respectivamente. O fotoperíodo médio foi de aproximadamente 11h. No interior dos módulos de cultivo, a temperatura média foi de 21±11°C.

No ambiente protegido, a temperatura diurna média do ar (25,6 °C) ficou acima da faixa descrita como adequada (16 a 20 °C) para o desenvolvimento da batata (Winkler 1971). Embora os valores tenham sido elevados para a temperatura diurna, esses não foram para a temperatura noturna (17,0 °C), que ficaram dentro do reportado como ideal para a cultura da batata (Sight et al. 2015). No ambiente radicular (módulo de cultivo), a temperatura média (21,0 °C) ficou próxima da citada como ideal para a cultura (20°C) (Sattelmacher et al. 1990, Chang et al. 2006). Essas observações sugerem que não houveram limitações de temperatura durante a realização deste experimento. Inclusive, após os 50 DAT, os valores de temperatura diminuíram consideravelmente, especialmente as noturnas (Figura 1); condições que são mais favoráveis para o cultivo da batata.

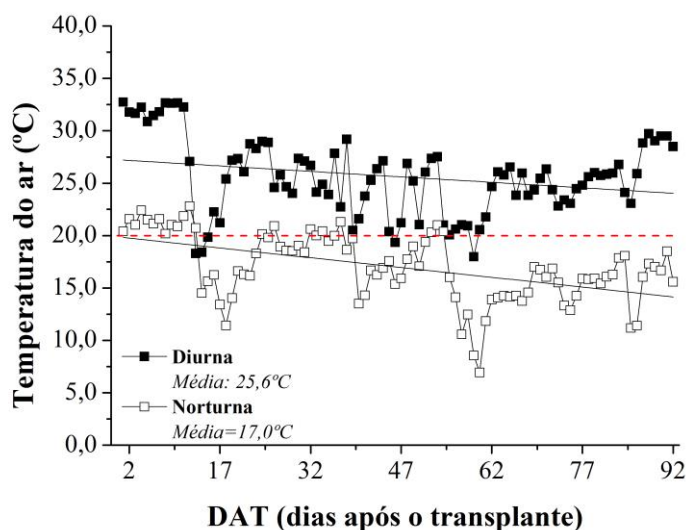


Figura 1 – Temperatura diurna (°C) e noturna (°C) durante a realização do experimento com concentrações de N na solução nutritiva. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

O ciclo de cultivo da ‘Ágata’ foi de 77 DAT e da ‘Asterix’ de 92 DAT. Para esta última cultivar aos 92 DAT as plantas do tratamento 141,2 mg L⁻¹ (completo em N) ainda apresentavam parte vegetativa vigorosa.

Diferenças também foram observadas no início da tuberização (IT), com formação dos minitubérculos aos 33 DAT para ‘Ágata’ e aos 40 DAT para ‘Asterix’. Nessas datas ainda não tinha sido realizada a aplicação dos tratamentos (CN) e as plantas estavam sendo cultivadas em

solução completa em N (141,2 mg L⁻¹). Em soluções completas em N, alguns autores (Farran e Mingo-Castel et al. 2006 e Chang et al. 2016) reportaram atraso na tuberização em aeroponia, porém não verificado nesta pesquisa, uma vez que os valores estão dentro dos citados por Chang et al. (2012), que relataram IT em plantas cultivadas aeronicamente entre 26 e 53 DAT.

Análise de variância – Na ‘Ágata’, após a aplicação dos tratamentos (47, 62, 77 e 92 DAT), para o índice relativo de clorofila (IRC), o número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP) e o número de minitubérculos m⁻² (NMTM2) houve efeito do tratamento (CN). No tocante a ‘Asterix’, para a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), o IRC e o índice de colheita (IC) também foi influenciada pela CN. As características MSPA e IRC apresentaram efeito da interação entre CN*DAT (Tabela 2).

Tabela 2 – Quadrados médios para massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca da raiz (MSR), teor de nitrato (TN), índice relativo de clorofila (IRC), número de minitubérculos planta⁻¹ (NMTP), número de minitubérculos m⁻² (NMTM2) e índice de colheita (IC) para ‘Ágata’ e ‘Asterix’ em função dos dias após transplante (DAT) e da concentração de nitrogênio (CN) da solução nutritiva. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

F.V.	g.l.	MSPA (g planta ⁻¹)	MSR (g planta ⁻¹)	TN (g kg ⁻¹)	IRC (Spad)	NMTP (n°)	NMTM2 (n°)	IC (%)
----- Ágata -----								
Repetição	3	1	0	252801	1	13	63971	0
DAT	3	6	12**	3032777	3	1265**	6110412**	0,4**
erro (a)	9	2	0	766782	2	1	7513	0
CN	3	0	0	1157061	20**	17**	80019**	0
CN*DAT	9	1	0	681598	8	1	6210	0
erro (b)	36	1	0	917945	4	2	8698	0
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
Média geral	-	3,3	1,8	4,3	-	-	-	20
C.V.(a) %	-	41	30	20	3	13	13	39
C.V.(b) %	-	30	33	22	5	14	14	27
----- Asterix -----								
Repetição	3	1	0	802755	5	7	33443	0
DAT	3	5**	16**	6855415*	16	254**	1225698**	0,5**
erro (a)	9	0	0	1506455	4	0	2655	0
CN	3	3	0	3224145*	23*	0	2815	0,02**
CN*DAT	9	5**	0	1415915	22**	0	343	0
erro (b)	36	38	0	946815	8	0	3097	0
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
Média geral	-	-	1,6	-	-	3,8	263	-
C.V. a (%)	-	32	19	31	5	19	19	14
C.V. b (%)	-	46	31	25	7	21	21	22

F.V.: fonte de variação; g.l.: grau de liberdade; C.V.: coeficiente de variação; **: significância à p<0,01; **: significância à p<0,05;

Cultivar Ágata – Não houve efeito da CN para as características MSPA, MSR, TN e IC, com médias observadas de 3,3 e 1,8 g planta⁻¹; 4,3 g kg⁻¹ e 20%, respectivamente (Tabela 2). Era esperado que a CN afetasse o acúmulo de biomassa (MSPA e MSR), uma vez

que o N está associado com o crescimento e partição de carboidrato na planta de batata, como verificado por alguns autores (Oparka et al. 1987, Sattelmacher et al. 1990, Chang et al. 2008, Chang et al. 2016). A falta de efeito da CN sobre a partição de carboidratos (MSPA e MSR) (Tabela 2) foi devido ao momento em que foi realizada a aplicação dos tratamentos. O momento adequado, de acordo com alguns autores (Chang et al. 2008), deve ser após suficiente desenvolvimento vegetativo. Acredita-se que este momento tenha ocorrido com a redução aos 47 DAT, uma vez que o maior número de hastes observado (4,9) foi observado aos 42 DAT. Ainda, no desenvolvimento vegetativo da cultura, o N tem pouco efeito após o pleno estabelecimento da parte aérea (Vos 2009). Entretanto, para a batata ‘Asterix’, uma cultivar meio tardia, a resposta foi distinta (discutido no tópico seguinte).

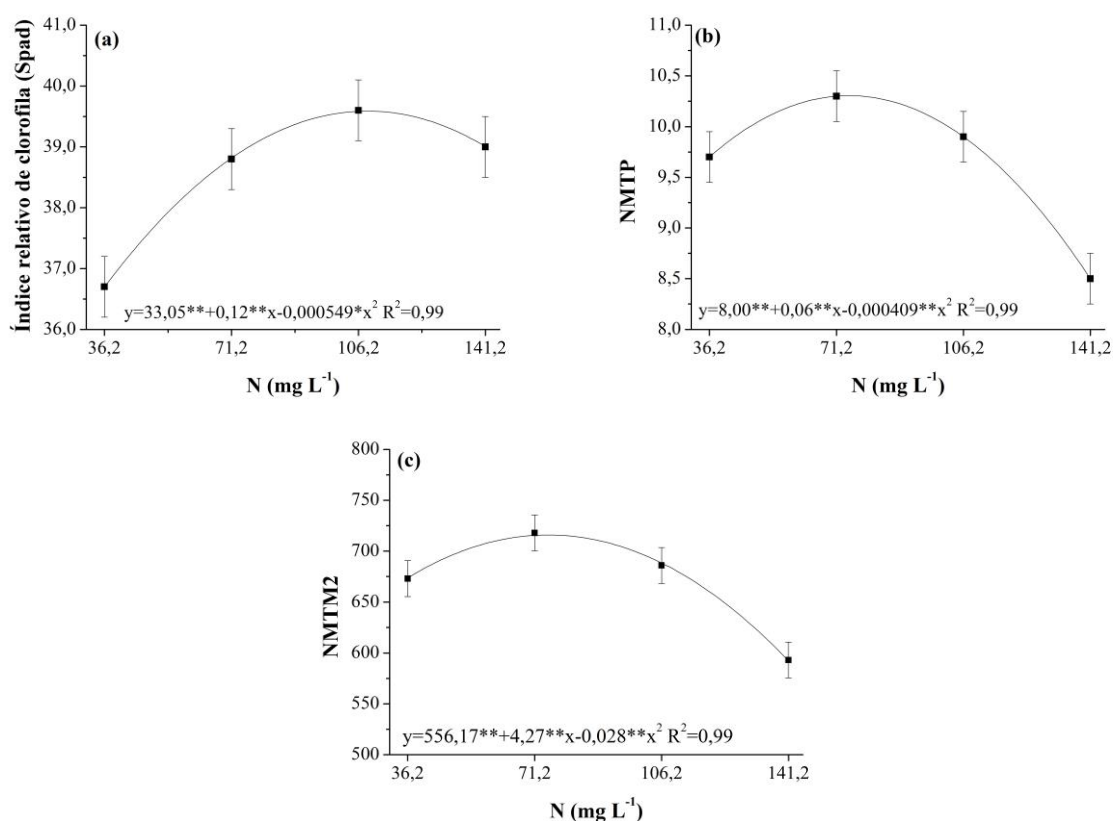


Figura 2 – Índice relativo de clorofila (a), número de minitubérculos planta⁻¹ (b) e número de minitubérculos m⁻² (c) em função das concentrações de nitrogênio (N) da solução nutritiva para ‘Ágata’ cultivada em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Embora os tratamentos (CN) não tenham afetado o acúmulo de biomassa da planta, eles afetaram o IRC e a produção de minitubérculos (NMTP e NMTM2). Para essas características, a regressão polinomial quadrática foi a que melhor representou a dispersão dos dados (Figura 2). Os maiores valores de IRC (39,6), NMTP (10,2) e NMTM2 (719) foram observados

com 109,3; 76,2 e 73,3 mg L⁻¹ de N, respectivamente (Figura 2). Embora o IRC tenha sido influenciado pela CN, não foi visualmente observado amarelecimento nas folhas dos tratamentos com menor concentração de N (36,2 e 71,2 mg L⁻¹), tão pouco diminuição de parte aérea, como apresentado para a característica MSPA (Tabela 2).

O maior número de minitubérculos por m⁻² (NMTM2) foi superior em cerca 17% ao observado na solução sem redução de N (141,2 mg L⁻¹). Essas observações sugerem que o N pôde ter afetado a produção de batata-semente não pelo seu efeito sobre translocação de carboidratos (fonte-dreno), como sugerido por alguns autores (Oparka et al. 1987, Bélanger et al. 2001). É mais provável que as CN tenham afetado a produção de forma indireta, via razão ABA/GA. Já é bem estabelecido que essa relação (ABA/GA) é influenciada pelo N, sendo o resultado biológico mais comum alteração na tuberização da batata (Krauss 1978, Krauss e Marschner 1982). Vale ressaltar também que o início e formação dos tubérculos é prejudicado por altos níveis de GA, sendo a tuberização favorecida por baixos níveis (Aksenova et al. 2012). Ainda, é conhecido que a GA favorece o crescimento de estolões. Nesta pesquisa foi observado uma grande ramificação dos estolões em soluções com maiores concentrações de N (106,2 e 141,2 mg L⁻¹); uma evidência de maior presença desse hormônio na planta (Figura 3). Contudo, para maior conhecimento do mecanismo N*ABA/GA, mais estudos precisam ser desenvolvidos.



Figura 3 – Detalhe de uma parcela experimental do tratamento completo em N (141,2 mg L⁻¹), exibindo o sistema radicular e os estolões ramificados da batata ‘Ágata’ cultivada em aeroponia. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

Cultivar Asterix – Diferente do observado para ‘Ágata’, para esta cultivar, a CN influenciou as características MSPA, TN, IRC e IC, no entanto, não afetou o NMTP (média de 3,8) e o NMTM2 (média de 263) (Tabela 2).

De modo geral, para a MSPA, os valores médios dos tratamentos assumiram um padrão crescente em função dos dias após o transplante (47, 62 e 77 DAT) com redução ao final do ciclo de cultivo (92 DAT), com exceção dos valores observados em 141,2 mg L⁻¹ (tratamento controle). Nessa concentração houve um salto na MSPA (5,1 g planta⁻¹) aos 92 DAT (Figura 4 a). Essa observação demonstra que as plantas ainda estavam em pleno desenvolvimento vegetativo em solução completa de N (141,2 mg L⁻¹), corroborando com os achados de Ritter et al. (2001) e Farran e Mingo-Castel et al. (2006), que reportaram prolongamento no ciclo de cultivo de batatas aeropônicas em virtude do fornecimento contínuo de N.

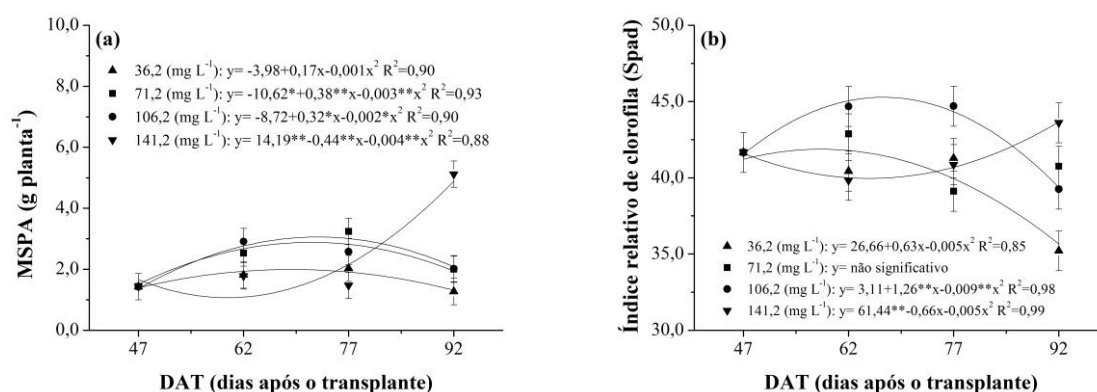


Figura 4 – Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (a) e índice relativo de clorofila (b) em função dos dias após transplante e das concentrações de nitrogênio (N) da solução nutritiva para ‘Asterix’ cultivada em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

O IRC e o TN também foram influenciados pelos tratamentos (CN) (Figuras 4 b e Figura 5 a). De maneira geral, o IRC seguiu o mesmo padrão observado para a MSPA. Na solução de maior concentração de N (141,2 mg L⁻¹) e aos 92 DAT houve um pico de leitura (43,6), sendo essa maior em 1,2 vezes à observada (35,2) na menor concentração (36,2 mg L⁻¹) (Figura 4 b). Para o TN também foi observado o mesmo efeito. Houve resposta linear em função das concentrações de N, sendo maior valor de TN (4,4 g kg⁻¹) observado na maior concentração de N (141,2 mg L⁻¹) (Figura 5 a).

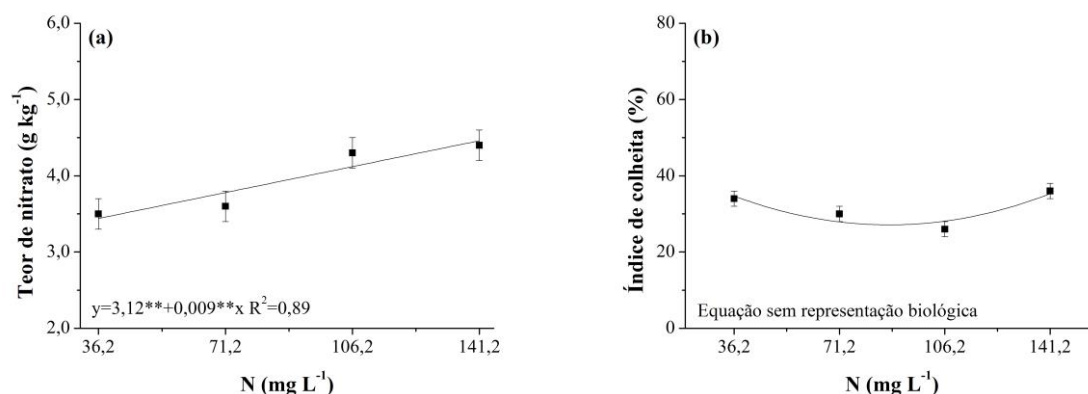


Figura 5 – Teor de nitrato (a) e índice de colheita (b) em função das concentrações de nitrogênio (N) da solução nutritiva para ‘Asterix’ cultivada em sistema aeropônico. IAC/APTA, Mococa-SP, Brasil, 2016.

De acordo com a hipótese do trabalho, para esta cultivar, a redução de N afetou o acúmulo de biomassa pela planta, como visto para MSPA (Figura 4 a), porém, não impactou a produção de minitubérculos (NMTP e NMTM2), haja visto que não houve efeito significativo dos tratamentos (Tabela 2), diferentemente do que ocorreu em relação a batata ‘Ágata’. Para essas constatações, há uma provável causa: o momento de redução de N (47 DAT) pôde ter sido muito adiantado para ‘Asterix’, uma vez que o máximo número de hastes foi observado só aos 62 DAT. Dessa forma, o baixo suprimento de N (36,2 e 71,2 mg L⁻¹) promoveu senescência precoce do material nas menores CN e, portanto, não promovendo o ganho de produção esperado (IC em Figura 4 d).

Dessa forma, para verificar o momento adequado da redução de nitrogênio da solução nutritiva, o ciclo de cultivo de diferentes cultivares deve ser levado em consideração. Além disso, o momento da redução de N é um fator importante de ser considerado em futuras pesquisas.

Conclusão

Para ‘Ágata’, a redução de N não afetou o acúmulo de biomassa pela planta, mas aumentou a produção de minitubérculos em 17% na concentração de N de 73,3 mg L⁻¹ em relação a solução controle (141,2 mg L⁻¹). Para ‘Asterix’, a redução de N afetou o acúmulo de biomassa pela planta, porém não influenciou a produção de minitubérculos. Existe uma relação de especificidade para cada cultivar em relação à redução de N.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado do primeiro autor e à FAPESP (Processo - 12/50786-8), pelo auxílio pesquisa do projeto.

Referências

Aksenova, N. P., Konstantinova, T. N., Golyanovskaya, S. A., Sergeeva, L. I., & Romanov, G. A. (2012). Hormonal Regulation of Tuber Formation in Potato Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59, 451–466. <http://dx.doi.org/10.1134/S1021443712040024>.

Banzato, D. A., & Kronka, S. N. (2006). Experimentação agrícola. Jaboticabal: Funep.

Baroja-Fernández, E., Muñoz, F. J., Montero, M., Etxeberria, E., Sesma, M. T., Ovecka, M., Bahaji, A., Ezquer, I., Li, J., Prat, S., & Pozueta-Romero, J. (1995). Enhancing Sucrose Synthase Activity in Transgenic Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers Results in Increased Levels of Starch, ADPglucose and UDPglucose and Total Yield. *Plant Cell Physiology*, 50, 1651-1662. <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcp108>.

Bélanger G., Walsh, J. R., Richards, J. E., Milburn, P. H., & Ziadi, N. (2001). Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different n fertilization rates with and without irrigation. *American Journal of Potato Research*, 78, 109-117. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02874766>.

Bou-torrent, J., Martínez-García, J. F., García-Martínez, J. L., & Prat, S. (2011). Gibberellin A1 Metabolism Contributes to the Control of Photoperiod-Mediated Tuberization in Potato. *PLoS ONE*, 6, 244-258. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0024458>.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C. & Purquerio, L. F. V. (2014). Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, 64-66, 43-51.

Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Moraes, C. C., & Purquerio, L. F. V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*, 76, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.022>.

Chang, D.C., Jeong, J. C., & Lee, Y. B. (2006). Effect of root zone cooling on growth responses and tuberization of hydroponically grown 'Superior' potato (*Solanum tuberosum*) in summer. *Journal of Bio-Environment Control*, 15, 340-345.

Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y., Kim, S. J., & Lee, Y. B. (2008). Physiological growth responses by nutrient interruption in aeroponically grown potatoes. *American Journal of Potato Research*, 85, 315–323. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9510-z>.

Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y. & 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., Jin, Y. I., Kim, S. J., Park, S. T., Cho, Y. R., & Lee, Y. B. (2016). Nutritional and Structural Response of Potato Plants to Reduced Nitrogen Supply in Nutrient Solution. *American Journal of Potato Research*, 93, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9510-z>.

Darvishi, B., Pustini, K., Ahmadi, A., Tavakol R., Shaterian, A. J., & Jahanbakhshpour, M. H. (2015) Effect of Nutritional Treatments on Physiological Characteristics and Tuberization of Potato Plants under Hydroponic Sand Culture. *Journal of Plant Nutrition*, 38, 2096-2111. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2015.1009101>.

Ewing, E. E., & Struik, P. C. (2010). Tuber Formation in Potato: Induction, Initiation and Growth. *Horticultural Reviews*, 14, ch. 3. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470650523.ch3>.

Factor, T. L., Calori, A. H., Purquerio, L. F. V., Feltran, J. C., & Watanabe, E. Y. (2016). Novo sistema de Aerponia para a produção de minitubérculos de batata-semente no Brasil: II - Produção. *Batata Show*, 16, 36-39.

Fao – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). Statistical Pocketbook, World Food and Agriculture. FAO Statistic Division. Rome, Italy. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 18 Mar. 2016.

Farran, I., & 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>.

Furlani, P. R., Silveira, L. C. P., Bolonhezi, D., & Faquin, V. (1999). Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico (Boletim técnico, 180).

Gao, Y., Jia, L., Hu, B., Alva, A., & Fan, M. (2014). Potato Stolon and Tuber Growth Influenced by Nitrogen Form. *Plant Production Science*, 17, 138-143. <http://dx.doi.org/10.1626/ppp.17.138>.

Goins, G. D., & 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.

Krauss, A. (1978). Tuberization and abscisic acid content in *solanum tuberosum* as affected by nitrogen nutrition. *Potato Research*, 21, 183-194. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02361619>.

Krauss, A., & Marschner, H. (1982). Influence of nitrogen nutrition, daylength and temperature on contents of gibberellic and abscisic acid and on tuberization in potato plants. *Potato Res.*, 25, 13-21, 1982. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02357269>.

Levy, D., & Veilleux, R. E. (2007). Adaptation of Potato to High Temperatures and Salinity - A Review. *American Journal of Potato Research*, 84, 487-506. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987885>.

Lyra, D. H., Ribeiro, G. H. M. R., Figueiredo, I. C. R., Guedes, M. L., Carneiro, O. L. G., Pinto, C. A. B. P., & Pereira, A. S. (2015). Início da tuberação, duração do ciclo vegetativo e tolerância ao calor em genótipos de batata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 582-592. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700008>.

Medeiros, C. A. B., Ziemer, A. H., Daniels, J. & 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>.

Oparka, K. J., Davies, H. V., & 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.

Oraby, H., Lachance, A., & Desjardins, Y. (2015). A low nutrient solution temperature and the application of stress treatments increase potato mini-tubers production in an aeroponic system. *American Journal of Potato Research*, 92, 387-397. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-015-9444-x>.

R Development Core Team. (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>. Acesso em 23 mar. 2017.

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, J., Rellosa, J., & 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>.

Rodríguez-Falcón, M., Bou, J., & Prat, S. (2006). Seasonal control of tuberization in potato: conserved elements with the flowering response. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 151–80. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105224>.

Sarkar, D., & Naik, P. (1998). Effect of inorganic nitrogen nutrition on cytokinin-induced potato microtuber production in vitro. *Potato Research*, 41, 211-217. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02358191>.

Sattelmacher, B., Klotz, F., & Marschner, H. (1990). Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. *Plant and Soil*, 123, 131–137. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00011258>.

Silva, G. O., Bortoletto, A. C., Ponijaleki, R., Mogor, A. F., & Pereira, A. S. (2014). Desempenho de cultivares nacionais de batata para produtividade de tubérculos. *Revista Ceres*, 61, 752-756. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050020>.

Silva, J. G., França, M. G. C., Gomide, F. T. F., & Magalhaes, J. R. (2013). Different Nitrogen Sources Affect Biomass Partitioning and Quality of Potato Production in a Hydroponic System. *American Journal of Potato Research*, 90, 179–185. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-012-9297-5>.

Singh, A., Siddappa, S., Bhardwaj, V., Singh, B., Kumar, D., & Singh, B. P. (2015). Expression profiling of potato cultivars with contrasting tuberization at elevated temperature using microarray analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 97, 108-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.09.014>.

Vos, J. (2009). Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato. *Potato Research*, 52, 305-317. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-009-9145-2>.

Winkler, E. (1971). Kartoffelbau in Tirol. II. Photosynthese vermogen und respiration yon verschiedenen kartoffelsorten. *Potato Research*, 14, 1-18.