Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Aspectos nutricionais da batateira para produção de tubérculo-semente em ambiente protegido

Héctor Manuel Coraspe León

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2007

Héctor Manuel Coraspe León
Engenheiro Agrônomo

Aspectos nutricionais da batateira para produção de tubérculo-semente em ambiente protegido

Orientador:
Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Coraspe-León, Héctor Manuel
Aspectos nutricionais da batateira para produção de tubérculo-semente em ambiente protegido / Héctor Manuel Coraspe-León. - - Piracicaba, 2007.
111 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Ambiente protegido – Plantas 2. Batata 3. Nutrição vegetal 4. Nutrientes minerais do solo 5. Solução nutritiva 6. Tubérculos I. Título

CDD 633.491

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À Deus, por me conceder saúde e perseverança para chegar onde estou.

Ao meu pai, Héctor,
pelo exemplo de responsabilidade e carinho
Á minha mãe, Luisa por me transmitir esse espírito de luta
por todo esse amor .

Aos meus irmãos, Angel, Mildred e Héctor Luis,
pelo incentivo e apoio .

Aos meus filhos, meus tesouros em constante formação.

OFEREÇO

À minha esposa, Landy, pelo amor, paciência,
compreensão e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre atendendo meus pedidos nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, Professor Dr. Takashi Muraoka por sua amizade, apoio, paciência e valiosos ensinamentos. Sempre com esse bom humor característico dele.

Ao Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) na Venezuela, pela liberação no serviço e concessão da bolsa de estudos para o curso de Doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade de realização do curso.

À professora Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP pela assistência na parte estatística.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP), por permitir o uso das instalações do laboratório de Fertilidade do Solo para realização deste trabalho.

Aos professores da ESALQ/USP Dr. Antonio Roque Dechen, Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello, Dr. Francisco Antonio Monteiro, Dr. Arnaldo Antonio Rodella e Dr. Luis Reynaldo Ferracciú Alleoni; e aos professores do CENA/USP Dr. Takashi Muraoka e Dr. Paulo César Oseche Trivelin pelos ensinamentos científicos.

Ao pesquisador Dr. Newton do Prado Granja do IAC, pelo fornecimento das plântulas in vitro para a realização dos experimentos.

À empresa CINEXPAN pela doação da argila expandida, substrato usado nos experimentos.

À funcionaria da Seção de Referência da DIBD/ESALQ, Eliana Maria Garcia pela amizade, colaboração e auxilio na revisão do texto e referências da tese.

Às funcionárias do Laboratório de Fertilidade do Solo do CENA/USP Marileusa A. Bassi e Sandra Tereza Pereira pela amizade e auxílio na realização das análises laboratoriais.

Aos funcionários do CENA/USP Fernanda Meucci, João Salvador e Henriqueta pela amizade e colaboração.

À anterior secretária da Pós-Graduação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Nancy C. Amaral, pela amizade e contribuição para a realização deste trabalho.

Aos meus caros amigos e colegas de sala Freddy Sinencio, Cabral, Tatiana, Fernanda, Felipe, Zaqueu, Raul, Carlos, Gilberto, Gean, Jackson, Denis e Anderson pela amizade, companheirismo e colaboração.

Ao meu prezado amigo Vinicius Ide Franzini pela distinta amizade, e auxílio no desenvolvimento da tese.

À minha família pelo amor e compreensão em todo momento nesta fase da minha vida.

À família Coraspe Gonçalves, especialmente a meu irmão Héctor Luis por essa convivência que tivemos nesses três anos.

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

"*Para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios*".

Simón Bolívar

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 10
1 INTRODUÇÃO 11
2 DESENVOLVIMENTO 13
2.1 Revisão Bibliográfica 13
2.1.1 Aspectos gerais da cultura da batata 13
2.1.2 Produção de batata-semente. 14
2.1.3 Capacidade produtiva da batata. 16
2.1.4 Estado nutricional da planta. 17
2.1.5 Cultivo hidropônico 18
2.1.6 Argila expandida como substrato 24
2.1.7 Absorção preferencial de forma de nitrogênio 26
2.2 Material e Métodos 29
2.2.1 Caracterização dos experimentos 29
2.2.1.1 Experimento 1: Doses de N e K na solução nutritiva para produção de batata-semente 30
2.2.1.2 Experimento 2: Marcha de absorção de nutrientes na produção de batata-semente 33
2.2.1.3 Experimento 3: Absorção e aproveitamento de N-amoniacal e N-nítrico na produção de batata-semente 33
2.2.2 Caracterização do substrato utilizado nos experimentos 35
2.2.3 Cultivar 36
2.2.4 Material de plantio 37
2.2.5 Análise dos resultados 37
2.3 Resultados e Discussão 37
2.3.1 Experimento 1: Doses de N e K na solução nutritiva para produção de batata-semente 37
2.3.1.1 Variação do pH e CE 37
2.3.1.2 Produção de matéria seca 39
2.3.1.3 Acúmulo de nitrogênio e potássio 42
2.3.1.4 Perda de peso em tubérculo-semente 46
2.3.2 Experimento 2: Marcha de absorção de nutrientes na produção de batata-semente 48

2.3.2.1 Acúmulo de matéria seca....48
2.3.2.2 Acúmulo de macronutrientes....52
2.3.2.2.1 Nitrogênio....52
2.3.2.2.2 Fósforo....55
2.3.2.2.3 Potássio....58
2.3.2.2.4 Cálcio....61
2.3.2.2.5 Magnésio....64
2.3.2.2.6 Enxofre....67
2.3.2.3 Acúmulo de micronutrientes....70
2.3.2.3.1 Boro....70
2.3.2.3.2 Cobre....73
2.3.2.3.3 Ferro....76
2.3.2.3.4 Manganês....79
2.3.2.3.5 Zinco....82
2.3.3 Experimento 3 – Aproveitamento e absorção do N-amoniacal e N-nítrico na produção de batata-semente....85
2.3.3.1 – Aproveitamento pelas plantas do N aplicado em diferentes estádios....85
2.3.3.2 – Absorção de N aplicado em diferentes estádios....90
3 CONCLUSÕES....96
REFERÊNCIAS....97

RESUMO

Aspectos nutricionais da batateira para produção de tubérculo-semente em ambiente protegido

Apesar da sua importância e o grande número de estudos sobre a cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), nas condições tropicais as pesquisas existentes sobre a nutrição mineral da batateira para produção de tubérculo-semente, tanto em campo quanto em ambientes protegidos, são escassas. A produção de tubérculo-semente em ambiente controlado, como o sistema utilizado pelo IAC, deve ser mais bem compreendido para ser sujeito de melhoras tecnológicas. Dentre os cultivares para uso industrial no Brasil, o cv. 'Atlantic' destaca-se por ser uma das poucas adaptadas a essa finalidade e pela elevada capacidade produtiva, ocupando cerca dos 80% do mercado nacional da batata processada como "chips". O objetivo do presente trabalho foi estudar a nutrição mineral da batateira para produção de tubérculo-semente classe básica, cv. 'Atlantic' cultivada em ambiente protegido com argila expandida como substrato. Para isso foram realizados três experimentos em casa-de-vegetação com a finalidade de: a) avaliar doses de N e K e suas possíveis interações na produção de tubérculo semente, b) determinar a marcha de absorção de nutrientes (macro e B, Cu, Fe, Mn e Zn) de plantas na produção de tubérculo-semente, e c) determinar a forma preferencial de absorção de nitrogênio (NH_4 ou NO_3) pela planta da batata na produção de tubérculo-semente, usando nitrato de amônio marcado com ^{15}N ($^{15}NH_4$ ou $^{15}NO_3$). A produção de matéria seca e o acúmulo de nitrogênio nos tubérculos e na parte aérea foram diretamente relacionados com as doses de N na solução nutritiva. O acúmulo de potássio na parte aérea foi diretamente relacionado com o fornecimento de nitrogênio e potássio, enquanto que nos tubérculos apenas de K. Houve interação positiva entre nitrogênio e potássio, resultando em diminuição na perda de peso dos tubérculos após período de armazenagem. A menor desidratação obteve-se na combinação de doses de 12,65 mmol L^{-1} de N e 7,03 mmol L^{-1} de K. A seqüência de acúmulo máximo dos macronutrientes foi: potássio > nitrogênio > enxofre > cálcio > fósforo > magnésio, enquanto que em micronutrientes foi: ferro> manganês > cobre > zinco > boro. No inicio do ciclo de crescimento da planta de batata ocorreu maior aproveitamento do N-amoniacal, enquanto no final do ciclo há maior absorção da forma nítrica. A forma preferencial de absorção no estádio inicial de desenvolvimento foi a amoniacal, não tendo havido diferenças das formas nos estádios intermediários (28 e 49 dias após transplante), tornando-se a nítrica após 56 dias (formação de tubérculos). O aproveitamento de N pelas planta, porém, foi sempre maior com a forma amoniacal aplicada em todos os estádios, com exceção aos 28 dias e no final do ciclo.

Palavras-chave: Nutrição mineral; Amônio-^{15}N; Nitrato-^{15}N; Marcha de absorção; Soluções nutritivas; Argila expandida

ABSTRACT

Nutritional aspects of potato plants for seed tuber production in protected condition

In spite of its importance and the great number of studies on the potato (*Solanum tuberosum* L.) crop, in the tropical conditions the existing researches on mineral nutrition of the potato plant grown for seed tuber production, in field and in protected conditions, are scarce. The seed tuber production in protected conditions, as the system used by IAC (São Paulo State Research Institute at Campinas), should be better understood to be subject of technological improvements. Among the cultivars for industrial use in Brazil, the cv. 'Atlantic' stands out for being one of few adapted ones for the purpose and with high yield potential, occupying around 80% of the national market of the potato processed as "chips". The objective of the present work was to study the mineral nutrition of potato plant, Atlantic cv, for the production of basic class seed tubers, in protected conditions with nutrient solution in expanded clay as substratum. Three experiments were carried out in greenhouse with the purpose: a) to evaluate N and K rates and their possible interactions on the seed tubers production; b) to determine the nutrients (macro and B, Cu,Fe, Mn and Zn) absorption time course in potato plants for seed tuber production; and c) to determine the preferential nitrogen form taken up by potato plant for seed tuber production, using the ^{15}N isotope. The production of dry matter and the accumulation of nitrogen in the tubers and in the shoot were directly related with the N rate in the nutrient solution. The potassium accumulation in the shoot was directly related with the supply of nitrogen and potassium, while in the tubers, only of K. There was positive interaction between nitrogen and potassium, resulting in decrease in the loss of weight of the tubers after storage period. The lowest dehydration of tubers was obtained with the combination of 12.65 mmol L^{-1} of N and 7.03 mmol L^{-1} of K.. The sequence of maximum accumulation of the macronutrients was: potassium> nitrogen> sulfur> calcium> phosphorus> magnesium, while of micronutrients was: iron> manganese> copper> zinc> boron. The preferential form of nitrogen absorption in the early stage of plant growth was the NH_4, not having difference between the N forms at intermediate growth stages (28 and 49 days after transplanting), changing to NO_3 after 56 days (tuber formation). The utilization of N by the plants was, however, always larger with NH_4 form in all stages, with the exception at 28 days and the end of cycle.

Keywords: Mineral nutrition; Ammonium-^{15}N; Nitrate-^{15}N; Absorption time course; Nutrient solutions; Expanded clay

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a batateira (*Solanum tuberosum* L.) é a principal hortaliça e a cultura que tem a maior demanda relativa por fertilizantes, 1940 kg ha^{-1}, representando quase seis vezes a demanda da soja (338 kg ha^{-1}) (ANDA, 2000). A área colhida em 2004 está em torno de 135.000 ha, com produção de 2.837.885 t ano^{-1} e uma produtividade de 20,9 t ha^{-1}. As principais regiões produtoras são o Sul e Sudeste, contribuindo com 95,10% do total produzido (FNP, 2005).

As características de cada cultivar e o seu uso final – produção de semente, consumo in natura ou sob processamento - fazem uma grande diferença no manejo da cultura e na produtividade. Apesar da sua importância e o grande número de estudos sobre a cultura da batata, nas condições tropicais, as pesquisas existentes sobre a nutrição mineral da produção de batata-semente de cultivares para uso industrial, tanto em campo quanto em ambientes protegidos, são escassas.

O uso de batata-semente com boa sanidade, estado fisiológico e brotação adequada, junto com uma nutrição mineral balanceada, são fatores fundamentais para o sucesso da cultura, indispensável para a obtenção de elevadas produtividades.

A batata-semente classe básica deixou de ser produzida exclusivamente pelos institutos de pesquisa e universidades, existindo atualmente a produção comercial por agricultores especializados nesse segmento da cadeia produtiva da batata. Esses produtores utilizam tecnologias recentemente desenvolvidas e materiais de plantio de cultura de tecidos, obtendo tubérculos-sementes com alta qualidade sanitária e fisiológica. Porém, devido ao pouco tempo de desenvolvimento dessa atividade comercial no Brasil, existem aspectos relacionados com o manejo da nutrição mineral da planta que devem se esclarecidos para a otimização da produção.

O emprego de argila expandida como substrato associado a melhores proporções de nutrientes na solução nutritiva para produção de tubérculos-semente, melhor compreensão da nutrição da batateira iniciando-se de plântulas produzidas de cultura de tecidos, além da forma preferencial de absorção do nitrogênio pela planta são alguns aspectos que devem ser estudados para atingir maior eficiência desse sistema de produção. Os institutos de pesquisa, como o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), além de desenvolverem pesquisas com essa finalidade, também produzem comercialmente batata-semente das classes básicas de diversos cultivares.

O objetivo geral desta pesquisa foi estudar alguns aspectos relacionados à nutrição mineral de batata-semente classe básica, cv. ‘Atlantic’ cultivada em ambiente protegido, para aumentar a eficiência de produção. Para isso foram definidos três objetivos específicos:

-Avaliar o efeito das interações de N e K no desenvolvimento das plantas e na produção da batata semente.

-Determinar a marcha de absorção de nutrientes em batata-semente, cv. ‘Atlantic’.

-Determinar a forma de N ($N\text{-}NH_4^+$ ou $N\text{-}NO_3^-$) mais absorvida pelas plantas de batata na produção de tubérculos-semente, usando o isótopo ^{15}N.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Aspectos gerais da cultura da batata

O centro de origem da batateira (*Solanum tuberosum* L.) é aceito como estando na região que compreende a Cordilheira dos Andes na América do Sul, onde era consumida pelas populações nativas há mais de 6.000 anos e ainda hoje é um alimento básico na dieta dos moradores de essa região.

A batateira é uma solanácea anual que se caracteriza por apresentar caules aéreos, herbáceos e suas raízes originam-se na base desses caules ou hastes. O sistema radicular é superficial, com raízes concentrando-se até 30 cm de profundidade. As folhas são compostas por folíolos arredondados e as flores hermafroditas apresentam-se reunidas em inflorescências no topo da planta. Predomina a autopolinização, que origina um pequeno fruto verde com numerosas sementes minúsculas e viáveis (FILGUEIRA, 2000).

A planta apresenta uma moderada tolerância à acidez, conseguindo produzir na faixa de pH entre 5,0 a 6,5. Acima dela pode ocorrer susceptibilidade dos tubérculos a certos patógenos do solo, como os agentes causais da sarna comum (*Streptomyces scabis*) e da murcha bacteriana (antes conhecida como *Pseudomonas solanacearum* e atualmente como *Ralstonia solanacearum*). Os solos mais favoráveis ao desenvolvimento dos tubérculos são aqueles que têm texturas médias, leves, arejados e bem drenados, ricos em matéria orgânica e com saturação por alumínio abaixo de 20% (MANRIQUE, 1992)

As exigências climáticas da cultura são peculiares e precisas, ressaltando a temperatura elevada como fator limitante ao desenvolvimento da planta, especialmente a temperatura noturna, que quando supera 20 °C durante 60 noites ou mais, a tuberização não ocorre (EWING, 1997).

2.1.2 Produção de batata-semente.

A batata-semente é considerada um fator fundamental para garantir alta produtividade e boa qualidade do tubérculo na cultura da batata. Mesmo que todas as outras condições sejam favoráveis ao cultivo, o plantio de batata-semente de má qualidade pode comprometer uma safra. Portanto, a utilização de batata-semente com boa sanidade, estado fisiológico e brotação adequada, é fundamental para o sucesso da cultura (FURUMOTO; LOPES, 1997). O uso de material propagativo de alta qualidade fitossanitária é indispensável para a obtenção de elevadas produtividades. Doenças transmissíveis por sementes, como viroses e murcha bacteriana, constituem-se em fatores limitantes, ocasionando em muitas regiões elevados prejuízos (MEDEIROS et al., 2002).

A primeira estratégia para o controle das doenças transmitidas via semente tem sido o plantio de matérias sadios, provenientes de cultura de tecidos, onde a limpeza clonal e posterior indexação asseguram a qualidade fitossanitária do material produzido, permitindo ganhos significativos de produtividade na cultura (FORTES et al., 1998).

A utilização de novas técnicas de propagação vegetativa através da cultura de meristema e posterior micropropagação de mudas, com alto padrão genético e fitossanitário, disponibiliza materiais livres de viroses para a produção de batata-semente, denominados de minitubérculos ou microtubérculos. Entretanto, deve ressaltar-se que a aplicação da cultura de tecidos em diferentes áreas de interesse está condicionada a vários fatores que devem ser controlados de maneira adequada durante o processo, pois cada espécie ou cultivar difere geneticamente entre si e pode responder de forma diferente mesmo sob idênticas condições de cultivo (FORTES; PEREIRA, 2003).

Nos programas oficiais de produção de batata-semente objetiva-se a multiplicação de sementes livres de vírus e doenças transmissíveis pelos tubérculos, até atingir um volume compatível com o custo e a demanda do mercado, observando-se que a cada geração de multiplicação em campo a qualidade do lote diminui devido à degenerescência fisiológica e fitopatológica. Em cada região ou pais, o número de gerações permitido é diferente, assim como as nomenclaturas utilizadas para cada geração, dependendo das particularidades climáticas e tecnológicas (HIRANO, 1987). Nas regiões de elevada altitude da Venezuela, como na região da Cordilheira de Los Andes, observam-se plantios comerciais de batata com mais de 14 multiplicações ou gerações, mantendo produtividades aceitáveis entre 15 a 18 t ha^{-1}.

No Brasil, bem como na maioria dos países produtores, a batata tem sido propagada por via vegetativa, utilizando-se batata-semente previamente brotada. Tal particularidade constitui um sério fator limitante à expansão da cultura em muitas localidades produtoras ou com potencial, já que o material de propagação é de difícil aquisição e de alto custo (FILGUEIRA, 1987). Muitas vezes é inviável, do ponto de vista econômico, obter batata-semente de excelente qualidade, devido à grande quantidade necessária, ao redor de duas t ha^{-1}, e ao elevado preço do material, sendo em média o valor da batata-semente certificada duas vezes superior ao da batata para consumo (DANIELS, 2001). Este problema pode ser minimizado pela produção da semente própria, em condições adequadas e com a aplicação de técnicas simples, como a seleção positiva ou marcação de plantas na lavoura. Porém, a situação ideal é obter e plantar batata-semente certificada.

Do total da produção mundial de batata, aproximadamente 15% é destinada para sementes, sendo este percentual menor nos países em que a produtividade é alta. Alguns países, como a Holanda e o Chile destinam 25% e 15% da produção, respectivamente, para sementes, devido à exportação deste produto. No Brasil, cerca de 13% da produção é destinada a sementes, mas apenas 20 a 30% desse total corresponde a sementes de qualidade, ou seja, sementes certificadas (PEREIRA; DANIELS, 2003).

Normalmente a batata é propagada vegetativamente, através do plantio de tubérculos semente. Ao contrario das sementes botânicas, estes tubérculos nunca estão realmente em repouso absoluto, sofrendo modificações bioquímicas constantemente, desde o inicio da tuberização até o inicio da brotação. Um dos fatores mais importantes para a cultura é o estado fisiológico dos tubérculos e o correspondente desenvolvimento da sua brotação. Nas condições do Brasil, onde o ciclo da cultura é curto, estes fatores devem promover uma emergência rápida e uniforme das plantas, promovendo um máximo desenvolvimento vegetativo no menor período de tempo.

Apesar de ser propagada de forma vegetativa através do tubérculo e, portanto classificada botanicamente como muda, é aceita a denominação de semente devido às suas características agronômicas serem mais estreitamente relacionadas com o material de propagação sexuada, na sua forma de manuseio, plantio, armazenamento e comercialização, seguindo as normas internacionais de classificação que subdivide as sementes em genética, básica, registrada e certificada (HIRANO, 1987).

A propagação vegetativa é de grande importância para a fixação do conteúdo genético das plantas, pois possibilita a formação de clones. Os diferentes métodos de propagação vegetativa de plantas, além de permitirem a manutenção das características genéticas da planta matriz, em muitos casos reduzem o porte das plantas e promovem a precocidade. Entretanto, a prática de clonagem em plantas de propagação vegetativa, apesar de permitir saltos significativos tanto em produtividade como em qualidade do produto, com reflexos positivos no rendimento econômico, implica, freqüentemente, em uma drástica redução na variabilidade genética presente em plantios comerciais, expondo os cultivos a maiores riscos frente a mudanças ambientais. Esses riscos são mais evidentes em ambientes sujeitos a estresses, a exemplo do que se verifica sob condições tropicais, nas quais a ocorrência de doenças e pragas é bastante acentuada (VALOIS et al., 2001).

O controle da qualidade sanitária da batata-semente é feito através de inspeções no campo, na colheita e no armazém, garantindo níveis toleráveis de doenças. Tubérculos com estas características são encontrados em batata-semente das classes básica, registrada ou certificada, produzida por produtores especializados e cadastrados nas Secretarias de Agricultura dos Estados (LOPES; FURUMOTO, 1997).

2.1.3 Capacidade produtiva da batata.

A planta da batata é uma espécie com alta capacidade produtiva, nos países com elevado nível tecnológico e com tradição em seu cultivo, como alguns países da Europa, onde a produtividade média anual supera 30 t ha^{-1} (FILGUEIRA, 1993), valores bem superiores à produtividade nos paises em desenvolvimento, com baixo nível de tecnologias aplicadas, mas com ampla tradição na sua produção, como é o caso dos paises da região andina.

Na Europa têm sido obtidas produtividades superiores às 90 t ha^{-1} e para as condições de Wageningen na Holanda, a produtividade potencial foi estimada em 100 t ha^{-1}, enquanto que em Washington, nos Estados Unidos, sob condições de dias longos, alta temperatura e umidade, e com ciclo de 175 dias, foi atingida produtividade de 155 t ha^{-1} (KUNKEL et al., apud RAMOS, 1999).

No Brasil a produtividade média anual está entre 20 e 21 t ha^{-1}, enquanto que as médias na Europa ficam entre 30 a 40 t ha^{-1}. Na região Centro-Sul, porém, existe um nível tecnológico elevado que é aplicado na produção, obtendo-se assim produtividades acima de 25 t ha^{-1}, e muitas

vezes chegando a valores superiores a 30 t ha^{-1}. Experimentalmente os valores têm atingido 50 t ha^{-1} (FILGUEIRA, 1993).

2.1.4 Estado nutricional da planta.

A cultura da batata apresenta um ciclo relativamente curto, geralmente compreendido entre três a quatro meses, com altas produções por área, sendo deste modo muito exigente quanto à presença de nutrientes na forma prontamente disponível na solução do solo (FELTRAN, 2002).

A analise de tecidos da planta torna-se uma ferramenta de diagnóstico, que determina o estado nutricional da cultura durante o desenvolvimento. O método baseia-se no conhecimento das relações entre concentração dos nutrientes nos tecidos da planta e a taxa de crescimento ou a produtividade durante as diferentes fases de desenvolvimento da cultura. Estas relações podem expressar deficiência, suficiência ou toxidez dos nutrientes. De modo geral, o estado nutricional das plantas é refletido melhor pela quantificação dos nutrientes nas folhas do que em outras partes ou órgãos (MARSCHNER, 1995; MENGEL; KIRKBY, 1987).

Geralmente as concentrações de nutrientes são avaliadas na quarta folha a partir do ápice, segundo Westerman (1983), que considera valores superiores a 35 g kg^{-1} de N, 2,5 g kg^{-1}de P, 35 g kg^{-1} de K, 6,0 g kg^{-1}de Ca, 2,5 g kg^{-1} de Mg e 2,0 g kg^{-1} de S e 20 mg de Zn kg^{-1}, 20 mg kg^{-1}de B, 10 mg kg^{-1} de Mn, 30 mg kg^{-1} de Fe, 5 mg kg^{-1} de Cu e 1 mg kg^{-1} de Mo, suficientes para a cultura, ressaltando haver diferenças entre cultivares. Já que Magalhães (1985, 1988) determinou a existência de uma faixa entre os teores de nutrientes presentes nas folhas de batata, sendo de 30 a 50; 2 a 4; 40 a 80; 20 a 40; 5 a 8 e de 3 a 4 g kg^{-1} para N, P, K, Ca, Mg e S e de 30 a 40; 20 a 40 70 a 150 e de 30 a 50 mg kg^{-1} para B, Zn, Fe e Mn, respectivamente.

Segundo Jones Júnior, Wolf e Mill (1991), são suficientes valores foliares entre 45 a 60; 2,9 a 5,0; 93 a 115; 7,6 a 10 e 10 a 12 g kg^{-1}de N, P, K, Ca e Mg e entre 25 a 50; 45 a 250; 7 a 20; 50 a 100 e 30 a 250 mg kg^{-1}de B, Zn, Cu, Fe e Mn, respectivamente. Para Rocha (1995), que trabalhou com adubação fosfatada, os níveis entre 5,7 e 6,2 g kg^{-1} de P na matéria seca de folíolos foram suficientes para 99 a 100% de produção. Já Reis Junior (1995), avaliando os efeitos da adubação potássica, concluiu que entre 74,1 e 89,1 g kg^{-1} de K na matéria seca de folíolo são valores adequados e também garantem 99 a 100% de produção. Outros estudos têm demonstrado valores relativamente próximos ou dentro da faixa dos mencionados anteriormente, como os 40 a 50; 2,5 a 5,0; 40 a 65; 10 a 20; 3,0 a 5,0 e 2,5 a 5,0 g kg^{-1} de N, P, K, Ca, Mg e S, e para os

micronutrientes 25 a 50; 20 a 60; 7 a 20; 50 a 100 e 30 a 250 mg kg^{-1} de B, Zn, Cu, Fe e Mn, respectivamente (LORENZI et al., 1996).

Em Itapetininga, Estado de São Paulo, Yorinori (2003), avaliando em campo a cv. 'Atlantic', obteve para acúmulo máximo, na safra da seca a seguinte seqüência: K > N > P > Ca > Mg > S para macronutrientes e de Fe > Mn > Zn > B > Cu para micronutrientes. Na safra das águas o N superou o K e o Ca ao P. A seqüência de exportação foi: N > K > P > S > Mg > Ca > Fe > Zn > B > Mn > Cu na safra das águas, enquanto que na safra da seca o K trocou de posição com N e Cu com Mn. Em ambiente protegido e com sistema hidropônico usando fibra de coco como substrato e a mesma cv, a seqüência de acúmulo máximo dos macronutrientes foi K > N > Ca > P > Mg e Fe > Mn > B > Zn > Cu. Neste mesmo trabalho a exportação de nutrientes obedeceu a seqüência: K > N > P > S > Mg > Ca > Fe > Zn > Cu > B > Mn (FAVORETTO, 2005), observando-se muita semelhança nos resultados destas duas pesquisas com a cv. 'Atlantic'. Dentre as cultivares para uso industrial no Brasil, a cv. 'Atlantic' destaca-se por ser uma das poucas adaptadas a essa finalidade e pela elevada capacidade produtiva, ocupa cerca do 80% do mercado nacional da batata processada como "chips" (YORINORI, 2003).

2.1.5 Cultivo hidropônico

A hidroponia tem despertado interesse crescente no mundo todo, devido contribuir para redução dos impactos ambientais. Trata-se de uma técnica alternativa de cultivo de plantas em solução nutritiva na ausência ou na presença de substratos naturais ou artificiais. De modo geral, o aumento da produtividade com menor impacto ambiental, a maior eficiência na utilização de água de irrigação e fertilizantes, a redução da quantidade ou eliminação de alguns defensivos e maior probabilidade de obtenção de produtos de qualidade são as principais vantagens dessa tecnologia de cultivo (RODRIGUES, 2002).

O cultivo hidropônico de plantas, na sua conceituação moderna, é bastante recente e faz parte de uma área maior do conhecimento denominada "cultivos sem solo". No Brasil, o cultivo hidropônico em escala comercial vem crescendo de forma rápida, destacando-se os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul que vêm desenvolvendo pesquisas pioneiras para a implantação da hidroponia (SANTOS, 2000).

Cultivo hidropônico bem-sucedido exige um grande volume de solução nutritiva ou ajuste freqüente da solução nutritiva, para impedir que a absorção de nutrientes pelas raízes produza

mudanças radicais nas concentrações de nutrientes e no pH do meio. Um suprimento satisfatório de oxigênio ao sistema radicular, também crítico, pode ser alcançado borbulhando-se vigorosamente ar pelo meio (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O sistema hidropônico de produção, já consagrado em diversas culturas, mostra-se vantajoso para a produção de sementes pré-básicas de batata, pois aumenta a produtividade, reduzindo os custos e eliminando qualquer risco de contaminação por patógenos de solo (MEDEIROS et al., 2002).

A produção de batata-semente de alta qualidade passa pela cultura de tecidos e uma ou mais gerações de multiplicação em condições controladas, para preservar a qualidade sanitária dos tubérculos-semente (FIOREZZE, 1997). Para a multiplicação de tubérculos-semente visando à produção comercial para posterior distribuição aos produtores, o cultivo hidropônico empregando substratos é mais adequado, por razões de simplicidade operacional, custos mais baixos, menor risco e maior inércia térmica.

Para o aumento da produtividade, faz-se necessário empregar batata-semente de alta qualidade, produzida a partir da cultura de tecidos e uma ou mais gerações de multiplicação em condições controladas. Essa é uma das variáveis que deve ser levada em conta na determinação da freqüência das fertirrigações, a qual deve ser ajustada de acordo com a demanda hídrica da cultura (ANDRIOLO, 1999). No caso da batata o emprego de sistemas hidropônicos na produção de tubérculos-semente é ainda recente, necessitando de uma gama maior de informação.

Até recentemente a única tecnologia disponível para a formação do estoque nuclear era a seleção clonal realizada em países ou locais com ambiente especialmente favorável á produção de técnicas de multiplicação rápida do material propagativo. Nas últimas décadas, intensificou-se a adoção do cultivo de meristemas para a formação de mudas in vitro livres de patógenos que, após micropropagação constitui o material de origem para o cultivo em ambiente protegido e posterior formação do estoque nuclear de batata-semente, comumente referido como material pré-básico (GRANJA et al., 2003).

Diferentes sistemas hidropônicos vêm sendo empregados em diversos países, como forma de substituir os métodos convencionais de produção de tubérculos semente (CHANG et al., 2000; ROMANENKO, 1997), mas nem sempre atingem os índices de multiplicação desejados. No Brasil, os resultados até então alcançados revelam importante avanço no processo produtivo de

batata-semente, capaz de contribuir para a eliminação de um de seus pontos de estrangulamento: a baixa taxa de multiplicação de tubérculos pré-básicos (MEDEIROS et al., 2002).

No solo são aplicadas quantidades maiores e desuniformes de fertilizantes e há perdas por lixiviação e percolação. Nos sistemas hidropônicos fechados, a quantidade de fertilizantes é menor do que nos cultivos convencionais (RODRIGUES, 2002). O sistema exige o fornecimento regular de uma solução nutritiva completa, cujos volumes consumidos durante o ciclo de produção dependem principalmente da transpiração diária da cultura (BAILLE; BAILLE; DELMON, 1994).

Nesse contexto, a utilização de sistemas hidropônicos para produção de sementes pré-básicas de batata afigura-se como uma técnica vantajosa. Os estudos iniciados em 1998, com a produção de sementes de batata em cultivo sem solo (MEDEIROS; SILVA, 1999) indicam ser essa uma alternativa válida para a substituição dos processos produtivos atualmente em utilização.

A solução nutritiva é o meio pelo qual os nutrientes previamente dissolvidos na água são colocados à disposição das plantas e como considera, é como uma das partes mais importantes de todo o sistema hidropônico, seu mau uso pode acarretar sérios prejuízos para as plantas (MARTINEZ; SILVA FILHO, 1997; ANDRIOLO, 1999). Furlani et al. (1999a), salientam que muitos cultivos hidropônicos não obtêm sucesso, principalmente, devido à falta de conhecimento dos aspectos nutricionais desse sistema de produção, o qual requer formulação e manejo adequados das soluções nutritivas.

A recente intensificação da horticultura e principalmente a sua concentração em determinadas regiões produtoras criaram problemas tanto de ordem nutricional, como salinização do solo e/ou antagonismo entre nutrientes, quanto de sanidade do sistema radicular, pois aumentou a incidência de doenças provocadas pelos patógenos que vivem no solo (ABAK; CELIKEL, 1994; ANDRIOLO et al., 1997 apud FERNANDES; CORÁ; ARAÚJO, (2001). Esta situação é bastante preocupante, pois pode inviabilizar o cultivo de espécies hortícolas em áreas fortemente atacadas. Assim, na busca de novas alternativas de cultivo verificou-se a possibilidade de produção destas espécies em substratos.

O cultivo em substrato possibilitou grande número de produção de biomassa, regularização do hábito de crescimento e aumento de pegamento pós-transplante, além de maior facilidade de organizar e programar a produção (LEMAIRE, 1995).

Atualmente, encontram-se no mercado substratos formulados com mais variados tipos de materiais e proporções de misturas. Isso ocorre porque as normas para produção e fiscalização de substratos no Brasil ainda não estão definidas (FABRI; SALAS; MINAMI, 2004).

A escolha do substrato determinará o tipo de estrutura para produção das mudas. O substrato mais adequado deverá atender às seguintes características: ser inerte quanto ao fornecimento de nutrientes, ter pH neutro e apresentar retenção de água e porosidade adequadas para oxigenação das raízes, oferecer sustentação para a muda e proteger as raízes dos danos físicos (FURLANI, et al., 1999a).

È importante destacar, no que diz respeito aos substratos, a importância das suas características físicas, segundo Verdonck, Penninck e Doodt, (1983), que as considera até mais importantes do que as propriedades químicas, visto que as propriedades físicas vão determinar características importantes, como aeração e capacidade de retenção de água, e não podem ser modificadas durante o cultivo. Já as propriedades químicas, como concentrações de sais, teores de nutrientes, valores de pH e de condutividade elétrica (CE) podem ser modificados através da irrigação e da fertirrigação (MILNER, 2001).

O pH influencia diretamente na solubilidade e disponibilidade dos nutrientes na solução presente no ambiente radicular, afetando ainda a capacidade de troca catiônica dos substratos, podendo também ter efeito direto sobre a planta. O nível adequado de pH em água no ambiente radicular deve ficar entre 5,0 e 6,0 (MILNER, 2001).

No caso de substratos ôrgano-minerais, deve-se considerar a CE e a sua CTC. A CE está relacionada à concentração inicial de sais solúveis no presente substrato, indicando se há necessidade de se adicionar nutrientes ou não. A acumulação excessiva de sais no substrato é conhecida como salinidade, e pode ser causada por diversos fatores, como a presença excessiva de sais em alguns componentes do substrato, adição e nutrientes em excesso na solução nutritiva ou na fabricação de substratos, podendo influenciar na germinação das sementes (MINER, 1994).

Com relação à CTC, esta é definida como a quantidade de cátions presentes na superfície do substrato e que podem ser trocados com os cátions presentes na superfície do substrato e que podem ser trocados com os cátions da solução nutritiva (MARTINEZ, 2002). O mesmo autor observa que em substratos onde este parâmetro alcança valor elevado, os nutrientes podem ser retidos e liberados gradualmente para as plantas. Quanto maior a CTC do substrato, menor deve ser a freqüência de fertirrigação.

Entretanto, uma grande parte das soluções nutritivas não tem poder tampão, ocasionando variação contínua de pH, não se mantendo dentro de uma faixa ideal. Variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares e valores superiores a 6,5 deve-se ter atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiências de Fe, P, B, Mn (FURLANI et al., 1999a).

A maior produtividade normalmente obtida nos sistemas hidropônicos, comparativamente ao cultivo tradicional, deve-se fundamentalmente à ausência de enfermidades radiculares, desde que utilizado material isento de patógenos, e ao melhor controle sobre a nutrição das plantas, através do uso de solução nutritiva adequada à espécie (CALDEVILLA; LOZANO, 1993). A solução permite manter junto às raízes a concentração desejada de nutrientes, procedendo-se os ajustes sempre necessários.

Segundo Furlani et al. (1999a), quando se procede à análise das exigências nutricionais de plantas visando o cultivo sem solo, devem-se enfocar as relações entre os nutrientes, pois esta é uma indicação da relação de extração do meio de crescimento, diferentemente do cultivo em solo, onde se procura fornecer as quantidades de nutrientes, exigidas pela cultura através do conhecimento prévio das quantidades disponíveis no solo.

Conforme Hoagland e Arnon (1950), um adequado fornecimento de nutrientes está diretamente relacionado com o volume de solução, estádio de desenvolvimento das plantas, taxa de absorção de nutrientes e freqüência da renovação e reposição de nutrientes na solução nutritiva.

A composição ideal de uma solução nutritiva depende não somente das concentrações dos nutrientes, mas também de outros fatores ligados ao cultivo, incluindo-se o tipo ou o sistema hidropônico, os fatores ambientais, a época do ano, duração do período da luz, estádio fenológico, a espécie vegetal e o cultivar em produção (FURLANI et al., 1999a).

Quanto maior for o volume de solução por planta, menores serão as alterações nas concentrações de nutrientes. Além disso, um maior volume por planta permite um maior contato dos elementos essenciais com o sistema radicular e uma maior diluição dos efeitos de substâncias tóxicas ou inibitórias, que por ventura possam estar inseridas nos sistemas (JONES JUNIOR, 1983).

As espécies e cultivares têm exigências diferentes em relação à quantidade e à forma química do mesmo de nutriente. O tomateiro, por exemplo, é mais exigente em cálcio, fósforo e

potássio do que a alface. O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO^-_3) ou amônio (NH_4^+). A absorção de nitrato varia conforme a cultivar e intensidade luminosa como pode ser constatado em culturas de alface e em outras hortaliças (RODRIGUES, 2002). O nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+) não deve ultrapassar 20% da quantidade total de N na formulação (FURLANI et al., 1999a).

Não existe uma solução nutritiva considerada ideal. No entanto, é comum encontrar nos artigos a frase solução nutritiva modificada de Hoagland, isto é, fórmulas derivadas da proposta em 1938, por Hoagland e Arnon, apud de Resh (1996), onde os valores expressos em ($mg.L^{-1}$) são: $N\text{-}NO_3$ (210), P(31), K (234), Ca (160), Mg (48), S (64), B (0,5), Cu (0,02), Fe (1,0), Mn (0,5), Mo (0,01) e Zn (0,05). Também existe outra versão dessa solução com a adição de $N\text{-}NH^+_4$ (14), mantendo-se o N total constante. Esses dois tipos de soluções têm sido as mais usadas em pesquisa com nutrição mineral de plantas e constituem a base para a formulação de inúmeras soluções nutritivas comerciais existentes em todo o mundo (FURLANI et al., 1999a).

Na seção de raízes e tubérculos do IAC, a produção de batata-semente é realizada usando uma solução nutritiva que apresenta as seguintes concentrações, em mg L^{-1}: N (207,25), P (48,62), K (243,58), Ca (200), Mg (24,06), S (31,09), B (0,078), Cu (0,795), Fe (0,576), Mn (0,385), Mo (0,019) e Zn (0,079). Esta solução nutritiva parece não ter sido avaliada previamente para seu uso na produção de tubérculos-sementes, especialmente em cultivares cuja finalidade é o processamento e certos parâmetros de qualidade devem ser considerados. Provavelmente as concentrações de alguns nutrientes, como o N e K, devam ser sujeitas a revisão a fim de ajustá-las às exigências na produção de batata-semente, onde alguns parâmetros são importantes, como todo o relativo à brotação e desidratação dos tubérculos.

Alguns autores têm reportado a importância de uma adequada relação entre N e K para diversas culturas, como capim Braquiária (CARVALHO; MARTINS; VERNEQUE, 1991), capim Mombaça (LAVRES, 2001), trigo (VIANA, 2007), inclusive na batata (WESTERMANN et al., 1994a e b; COGO et al., 2006).

O N e o K são os nutrientes mais extraídos pela cultura da batata (YORINORI, 2003; FAVORETTO, 2005), sendo que a resposta ao K depende, em grande parte, da adubação nitrogenada. A maior absorção de K permite rápida assimilação do NH_4^+ absorvido (AJAY; MAYNARD; BARKER, 1970) mantendo o teor de amônio baixo nas plantas e reduzindo possíveis efeitos tóxicos nas plantas (DIBB; THOMPSON JUNIOR, 1985). Nessa cultura, o K é

o nutriente absorvido em maior quantidade pela batateira (PERRENOUD, 1993) sendo necessário para a translocação de açúcares, síntese de amido (REIS JR; FONTES, 1996) e para a obtenção de elevadas produtividades de tubérculos (WESTERMANN et al., 1994b) e de alta qualidade (WESTERMANN et al., 1994a). A exportação de K nos tubérculos é 1,5 vezes maior do que a do N e de quatro a cinco vezes maior do que a do P (YORINORI, 2003).

No período de floração e frutificação de culturas com valor econômico, como flores ou frutos, deve-se reduzir a relação N/K, alteração essa fácil de ser feita no cultivo hidropônico (FURLANI et al., 1999a). Embora na cultura da batata, a fase reprodutiva não apresente interesse comercial, as relações entre N e K consideradas podem ser diferentes das usadas durante o estágio de desenvolvimento vegetativo. Em alguns cultivares de batata, a floração da planta coincide com o inicio da tuberização, portanto neste estádio fenológico pode haver necessidade de alterar a relação de fornecimento entre esses dois nutrientes.

Em cultivos hidropônicos, a absorção é geralmente proporcional à concentração de nutrientes na solução próxima às raízes, sendo muito influenciada pelos fatores ambientais, tais como: salinidade, oxigenação, temperatura, pH da solução nutritiva, intensidade de luz, fotoperíodo, temperatura e umidade do ar (ADAMS, 1994).

Considerando o fato de absorção de nutrientes pelas plantas ser seletiva em função da espécie e cultivar, a reposição dos nutrientes durante o desenvolvimento das plantas sem afetar o balanço entre as suas concentrações na solução nutritiva passa a ser o maior desafio dos produtores que optaram pelo cultivo hidropônico (FURLANI et al., 1999a).

2.1.6 Argila expandida como substrato

A produção de batata semente, nas classes pré-básica e básica, é feita no Brasil principalmente em laboratórios e sob ambiente protegido. As plântulas que originam os tubérculos pré-básicos são produzidas em laboratórios de cultura de tecidos pelo processo de cultura de meristema, com o uso das técnicas de micropropagação e posterior aclimatação em estufas.

A batata semente básica é produzida por institutos de pesquisa e por empresas privadas para sua comercialização. Nesta fase de produção é muito comum o uso de sistemas hidropônicos com o conseqüente emprego de substratos orgânicos e inorgânicos. Nestes sistemas de produção pode ser empregada grande variedade de substratos já que o seu uso facilita a ancoragem das

plantas e promovem aeração adequada para o sistema radicular (MARTINEZ; BARBOSA, 1999).

Entre os substratos destaca-se a argila expandida, usado com sucesso pelo IAC, um produto obtido pelo aquecimento da argila em fornos rotativos a 1.100 °C. Esta temperatura causa a esterilização e expansão das partículas em grânulos rígidos arredondados, permitindo o seu uso por vários ciclos de produção (WALTON, 1980). A argila expandida começou a ser usada na construção civil antes de ser empregada para hidroponia.

Na Alemanha e Inglaterra é um substrato muito comum para o cultivo sem solo, sendo usado na produção de ornamentais e de hortaliças (KAMPF; KAMPF; BRANDRÃO, 1992; FISCHER; MEINKEN, 1995). No Brasil, é conhecida como cinasita (MARTINEZ; BARBOSA, 1999).

Determinando as características físicas da argila expandida, Martinez e Barbosa (1999) observaram que o espaço poroso total foi de 69,00; 71,07; 71,54 e 72,24%, para as classes granulométricas de 4 a 10, 4 a 13, 10 a 13 e 13 a 20 mm de diâmetro, respectivamente. O volume de poros externos variou de 42 a 46% e o de poros internos de 26,00 a 29,07%. A densidade variou de 0,65 a 0,50 g cm^{-3}, da menor para a maior classe granulométrica. A retenção de água pelos poros internos após 1, 7 e 20 dias de embebição variou de 2,8 a 4,0%; 3,9 a 6,0% e de 5,9 a 7,5%, respectivamente, da menor para a maior classe granulométrica de argila expandida. A maior porcentagem de saturação de água nas maiores granulometrias pode ser explicada pela existência de maior porosidade total.

Outro aspecto importante é o relacionado com a desuniformidade da densidade observada nos grãos nas maiores granulometrias e mesmo as menores densidades secas e úmidas que quantificam os espaços vazios entre e dentro dos grãos. Esta lenta e baixa capacidade de retenção de água possibilitam maior arejamento e deve ser levada em conta ao se planejar a freqüência de saturação da argila expandida de forma que não falte água para as plantas.

O volume de água liberado sob tensão de sucção de 0 a 10 cm de coluna de água, correspondente ao espaço de aeração, variou de 24 a 40% da menor para a maior classe granulométrica, respectivamente, tendo ficado, nas três classes menores, dentro do sugerido para substratos hortícolas. O volume de água facilmente disponível ficou muito acima do sugerido, variando de 74 a 60% da menor para a maior granulometria. A argila expandida apresentou um

baixo volume global de água liberada, o qual variou de 68 a 28,6 ml L^{-1}, da menor para a maior granulometria.

De modo geral, os dados sobre características físicas da argila expandida enquadram-se dentro dos valores preconizados para substrato hortícolas, exceto a sua baixa a moderada capacidade de retenção de água. No aspecto químico, o valor elevado do pH sugere uma vigilância maior no seu monitoramento. A ausência de sais solúveis apresenta-se como vantagem, pois permite um controle preciso dos nutrientes da solução nutritiva (MARTINEZ; BARBOSA, 1999).

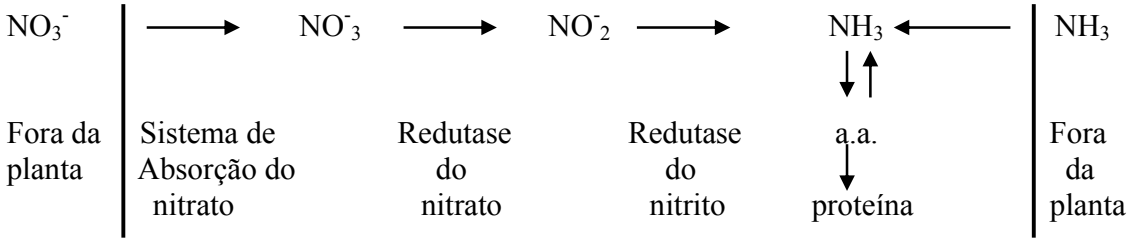
2.1.7 Absorção preferencial de forma de nitrogênio

O N é constituinte estrutural de proteínas, de muitos metabólitos envolvidos na síntese e transferência de energia e mesmo de ácidos nucléicos. É o elemento do solo mais absorvido pelas plantas em condições normais de cultivo. Por essa razão, é também, o nutriente que se encontra mais deficiente para a maioria das culturas em todas as partes do mundo *(*BLACK*,* 1986). A maior parte do nitrogênio no solo encontra-se combinado organicamente (BREMMER, 1965). Durante o processo de mineralização destes compostos nitrogenados orgânicos ocorre o estágio intermediário de formação de aminoácidos e outras formas orgânicas e, embora elas possam ser utilizadas pelas plantas (VIRTANEN; LINKOLA, 1946; GHOSH; BURRIS, 1949), praticamente todo o N absorvido do solo provém de duas formas de íons inorgânicos, NH_4^+ e NO_3^- (CROCOMO; NEPTUNE; REYES-ZUMETA, 1965; SCARSBOOK, 1965). Normalmente a planta, no inicio utiliza o N da reserva da semente, em seguida amônia (ou nitrato), e finalmente aminoácidos (GHOSH; BURRIS, 1949).

O NO_3^-, estando na forma aniônica, é particularmente sujeito a lixiviação (GASSERT, 1959, 1961; MALAVOLTA, 1967, 1980). Já o nitrogênio amoniacal, NH_4^+ é carregado positivamente, o que faz com que quando aplicado no solo, penetre mais lentamente devido à troca iônica, reduzindo a perda por drenagem (HARMSEN; KOLENBRANDER, 1965; SCARSBOOK, 1965). O nitrogênio amoniacal, alias, pode ser fixado pelas argilas com predominância de vermiculita e montmorilonita (NOMMIK, 1965).

Como cerca de 70% dos cátions e anions absorvidos pelas plantas são representados por amônio e nitrato (JUNGK, 1970, apud OSAKI et al., 1995b) as formas de N absorvidas pelas raízes são muito importantes em termos do balanço iônico e desenvolvimento da planta.

A absorção do nitrato e amônia pela planta pode ser dar de acordo com a seguinte seqüência de reações (WRAY; RIES; FILNER, 1970):



Segundo Jackson e Volk, (1966) a eficiência na utilização dessas fontes depende também da composição da solução do solo, acidez, estágio de desenvolvimento da planta e teor de carboidrato na planta. O efeito do pH na absorção do nitrogênio é marcante e se faz sentir principalmente sobre a forma amoniacal. Isso ocorre provavelmente em virtude de aumento da competição pelo H^+ em pH baixo (ZSOLDOS, 1971).

A preocupação em relação à forma preferencial de absorção de nitrogênio, NH_4^+ ou NO_3^-, não é recente, pois desde Liebig, no século passado, diversos pesquisadores têm-se dedicado a esse assunto. Normalmente, no inicio do ciclo vegetativo, as plantas têm preferência pela forma amoniacal, pois a absorção de nitrato depende da existência da redutase do nitrato na planta, isto é, a planta absorve esse íon após a formação desta enzima (SHEN, 1969). Alem disso, o amônio geralmente restringe a absorção de nitrato (JACKSON; VOLK, 1966); o NH_4^+ apenas inibe a ação de redutase do nitrato, não impedindo a sua formação (SHEN, 1969). A presença de nitrato, entretanto, induz a sua formação (BEEVERS et al., 1965; MINOTTI; WILLIANS; JACKSON, 1969).

Assim, Jones e Skinner (1927 apud STAHL; SHIVE, 1933) constataram que a absorção do nitrogênio forma amoniacal pela aveia decresce com a idade da planta, embora haja aumento com respeito ao nitrato. Esses autores também observaram que a absorção de NH_4^+ não aumentava com o aumento na concentração de sal amoniacal na solução, apesar de, por outro lado, a de nitrato com o seu aumento no meio. Stahl e Shive, (1933), obtiveram resultados semelhantes com a mesma cultura. A absorção quantitativa de N nitrogênio como NH_4^+ era

maior no inicio diminuindo gradativamente e tornando-se mínima na maturidade; já com o NO_3^-, foi mínima no inicio, rapidamente aumentando e alcançando o máximo no estagio da inflorescência e então rapidamente declinando até a aproximação da maturação. O total de N absorvido alcançou o máximo quando a absorção do NO_3^- foi máxima, o que se verificou no período de florescimento.

Já, Ghosh e Burris (1949) obtiveram resultados um tanto contraditórios. No estágio inicial do ciclo, a aveia cresceu bem tanto em solução amoniacal como em nítrica, embora nos estágios finais as plantas tenham se desenvolvido bem menos em solução amoniacal do que em solução nítrica.

Em algumas culturas, a resposta para a fonte de nitrogênio depende do nível desse elemento. Assim, a absorção do amônio é favorecida por uma alta concentração (200 ppm de N) e a de nitrato, por uma baixa dose (NIELSEN; CUNNINGHAN, 1964). Certas plantas, tais como "blueberrries" (*Vaccinum* spp) desenvolvem melhor em meio amoniacal, dependendo do PH e as condições do meio (CAIN, 1952; OERTLI, 1963). *Pinus radiata* e *Picea glauca*, cultivadas em solução nutritiva, solo e resina, apresentam maior desenvolvimento e absorção com fonte amoniacal do que com o nitrato, a diversos níveis de acidez (MCFEE; STONE, 1967).

Experimentos realizados por Jackson; Volk (1966) usando $NH_4\ NO_3$, marcado com ^{15}N na porção amoniacal ou nítrica, mostraram que "seedlings" de fumo previamente cultivados com nitrato, absorveram mais amônio que nitrato, durante um período de 6 horas. Constatou-se, porém que durante o florescimento, mais nitrito era absorvido que amônio.

Berlier e Guiraud (1966) constataram que nas gramíneas (aveia e "rye-grass"), a absorção de ^{15}N e a sua incorporação nas proteínas ocorriam mais na forma amoniacal do que na forma nítrica. Freid et al., (1968 apud ZSOLDOS, 1971), utilizando raízes destacadas de arroz, também constataram que a absorção de ^{15}N era muito mais intensa do que a do nitrato.

A forma preferencial na absorção de nitrogênio, nítrica ou amoniacal, difere também com as espécies vegetais, conforme observados pelo Tadano e Tanaka (1976), que compararam 21 culturas distintas. Recentemente, Heinrichs et al., (2006) constataram que a soja, quando recebeu nitrato de amônio (^{15}N) na semeadura, não apresentou forma preferencial de absorção, mas aos 10 dias após a semeadura, o N na planta proveniente do fertilizante foi maior na forma amoniacal; o feijoeiro não apresentou preferência de uma ou outra forma; no arroz, o maior aproveitamento do N do fertilizante ocorreu na forma amoniacal, independente da época de

aplicação, enquanto que no milho observaram esse efeito apenas quando o fertilizante foi aplicado em cobertura. Note-se que esse estudo foi feito com nitrato de amônio, marcado com ^{15}N no NH_4^+ ou no $N0_3^-$, isto é, como íon acompanhante o próprio nitrogênio (NO_3 ou NH_4), evitando-se o uso de fontes de N com distintos íons acompanhantes, como quando se usa, por exemplo, sulfato de amônio como fonte de NH_4^+ e nitrato de potássio como fonte de NO_3^-.

Embora informações sobre adubação de batateiras existam muitas, principalmente em condições de campo, são escassos os estudos com respeito à forma preferencial de absorção de nitrogênio em batateiras. Polizotto, Wilcox e Jones, (1975); Tadano e Tanaka, (1976) observaram que plantas de batata tiveram desenvolvimento reduzido pelo N-NH_4 comparado ao N-NO_3. Osaki et al. (1995a), usando nitrato de amônio marcado com ^{15}N no amônio ou no nitrato, constataram que na batateira, o desenvolvimento das folhas superiores foi estimulado pelos NH_4 porque o ^{15}N-NH_4 foi preferencialmente distribuído nas folhas superiores comparado ao ^{15}N-NO_3, o qual foi preferencialmente distribuído nas folhas inferiores. Esses mesmos autores (OSAKI et al., 1995b) reportam que N-NH_4 estimulou o enchimento de tubérculos, enquanto que o N-NO_3 estimulou a ramificação de estolhões e caules, e desenvolvimento da parte aérea. Em plantas cultivadas com N-NH_4, uma grande porção de ^{15}N-NH_4 foi principalmente particionada nos tubérculos e caules, enquanto que em plantas desenvolvidas com N-NO_3, o ^{15}N-$N0_3$ foi principalmente particionado nas folhas, especialmente nas frações insolúveis.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Caracterização dos experimentos

O presente estudo constou de três experimentos que foram desenvolvidos em casa-de-vegetação localizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba-SP, Brasil. Foram registradas as temperaturas mínimas e máximas ocorridas no interior da casa-de-vegetação durante o período de desenvolvimento dos experimentos, conforme se mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios de temperaturas mínimas e máximas mensais registradas no interior da casa-de-vegetação

Meses	Temperatura mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Abril	14,5	33,0
Maio	13,1	32,5
Junho	12,1	32,3
Julho	12,3	31,0
Agosto	13,5	35,0
Setembro	16,3	36,1
Outubro	19,0	36,1
Novembro	18,3	36,9

2.2.1.1 Experimento 1: Doses de N e K na solução nutritiva para produção de batata-semente

O objetivo deste experimento foi verificar as melhores doses de N e K na solução nutritiva usada no sistema de produção de batata-semente do IAC. O experimento foi instalado em abril de 2006 e avaliado até julho de 2006, desenvolvido em vasos plásticos de 2,3 L de capacidade, transplantando-se inicialmente quatro plântulas por vaso e deixadas duas, três semanas após o transplante. O substrato usado foi a argila expandida, colocando-se 1,85 kg do substrato por vaso. Em cada vaso foi aberto na parte inferior um orifício, no qual se adaptou uma mangueira para drenagem da solução nutritiva em recipiente coletor com capacidade de 4,5 L.

Os tratamentos de doses de N e K avaliados foram arranjados em esquema fatorial 5 x 5, com cinco doses de N e cinco de K, usando o delineamento de blocos completos ao acaso com três repetições. Detalhes dos tratamentos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição das doses de N e K usadas no experimento

Combinações de Doses					
N1K1	N1K2	N1K3	N1K4	N1K5	
N2K1	N2K2	N2K3	N2K4	N2K5	
N3K1	N3K2	N3K3	N3K4	N3K5	
N4K1	N4K2	N4K3	N4K4	N4K5	
N5K1	N5K2	N5K3	N5K4	N5K5	
Doses ($P \leq 0,01$) e [(1)]					
N1	8,37	(-6,42)	K1	6,23	(IAC)
N2	10,51	(-4,28)	K2	6,74	(+0,51)
N3	12,65	(-2,14)	K3	7,25	(+1,02)
N4	14,79	(IAC)	K4	7,76	(+1,53)
N5	16,93	(+2,14)	K5	8,27	(+2,04)

[(1)] Os valores entre parêntesis com sinal + ou – indicam, respectivamente, acréscimos ou decréscimos em relação à dose usada pelo IAC (testemunha)

Durante a primeira semana utilizou-se uma solução nutritiva diluída em 1/5 da concentração usual. Neste período, as irrigações foram efetuadas diariamente, completando o vaso com a solução nutritiva existente no recipiente coletor. Depois desse período inicial, as irrigações foram feitas duas vezes por semana, completando-se o recipiente coletor da solução nutritiva com água deionizada, e esta solução aplicada no vaso até o substrato ficar imerso por um período de 10 minutos, em seguida procedia-se à drenagem do vaso. Durante a realização do experimento, a solução nutritiva foi renovada a cada 21 dias como realizado no IAC, monitorando-se na solução coletada o pH e a condutividade elétrica (CE) para acompanhar o estado da salinidade. A concentração dos nutrientes restantes manteve-se de acordo com a composição da solução usada pelo IAC (Tabela 3). No preparo dos tratamentos utilizou-se, além dos sais e fertilizantes que compõem a solução do IAC (Tabela 4), KCl, $CaCl_2$ e NH_4NO_3 para poder obter as concentrações desejadas de N e K.

Tabela 3 - Composição química da solução nutritiva IAC

Macronutrientes **mmol L^{-1}**	**Micronutrientes** **µmol L^{-1}**
N = 14,79	B = 7,21
P = 1,57	Cu = 12,51
K = 6,23	Fe = 10,31
Ca = 4,99	Mn = 7,01
Mg = 0,99	Mo = 0,20
S = 0,97	Zn = 1,22

Tabela 4 - Sais e fertilizantes usados no preparo da solução nutritiva do IAC, para 10^3 L

Fertilizante ou sal	**Quantidade** **(g)**
Sulfato de magnésio	240
Nitrato de cálcio	1180
Nitrato de potássio	505
Fosfato monobásico de potássio	212
Tenso cocktail® (1)	15

(1) Composição química: B 0,52%; Ca-EDTA 2,57%; Cu-EDTA 0,53%; Fe-EDTA 2,1%; Fe-DTPA 1,74%; Mn-EDTA 2,57%; Mo 0,13%; Zn-EDTA 0,53%.

As plantas dos experimentos foram pulverizadas com inseticida (Imidacloprid) para controlar infestações de pulgão (*Myzus persicae*) e uma pulverização com fungicida (Mancozeb) para controle de doenças fúngicas foliares, principalmente a requeima (*Phytophthora infestans*).

Colheram-se as plantas 85 dias após o transplante, separando-se em parte aérea (PA) e tubérculos (TUB). O material foi devidamente identificado, acondicionado em sacos de papel, secos em estufa a 60 °C por 72 horas, pesado em balança de precisão para determinação da matéria seca (MS) e logo moídas em moinho tipo Willey. Efetuou-se a determinação de concentração N e K, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e calculou-se o acúmulo de nutrientes. Os cálculos de acúmulo de MS e de nutrientes foram realizados para uma planta por vaso.

Na ocasião da colheita e separação das plantas, foram apartados dois tubérculos-semente por tratamento para avaliar-se a perda de peso cinco meses após. Os tubérculos foram armazenados no laboratório de fertilidade de solos em sacos de papel e mantendo-se estes abertos, sob luz difusa, a temperatura ambiente.

2.2.1.2 Experimento 2: Marcha de absorção de nutrientes na produção de batata-semente

Este experimento teve por objetivo determinar as curvas de absorção e acúmulo de nutrientes na produção de batata-semente, classe básica, utilizando a solução nutritiva do IAC (Tabela 3) e argila expandida como substrato, sob ambiente protegido. Adotaram-se os mesmos procedimentos descritos no item 2.2.1.1 quanto à instalação e desenvolvimento do experimento, exceto as ressalvas feitas na descrição da metodologia, a seguir.

O experimento foi conduzido no período compreendido entre agosto e novembro de 2006, coletando-se plantas semanalmente após o transplante. O início das coletas foi a partir dos 14 dias após o transplante (DAT) e se prolongou até os 70 DAT. O número de plantas conduzidas e coletadas por vaso variou com a época de coleta, sendo que nas coletas dos 14 e 21 DAT utilizaram-se seis plantas por vaso e a partir da coleta de 28 DAT até o final do período de avaliação foram duas. Para os cálculos de acúmulo de MS e de nutriente os valores foram considerados para uma planta só. Após as plantas serem coletadas, procedeu-se à separação das partes da planta em raiz, caule, folhas e tubérculos. Cada parte da planta foi colocada em saco de papel, levada para secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 60 °C, por um período de 72 horas. Após este período, a massa das amostras foi determinada em balança analítica para obtenção das suas respectivas matérias secas. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e armazenadas em sacos de papel. A seguir, efetuou-se a determinação da concentração de macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e trabalhou-se com o acúmulo de nutrientes, multiplicando a concentração de cada nutriente pela massa seca da parte da planta referida.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e nove tratamentos, referentes às épocas de coletas das plantas: 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 70 DAT.

2.2.1.3 Experimento 3: Absorção e aproveitamento de N-amoniacal e N-nítrico na produção de batata-semente

Este experimento teve por objetivo determinar a forma preferencial de absorção do N (amoniacal ou nítrico) por plantas de batata para produção de tubérculos-semente empregando-se técnicas isotópicas. Foi realizado no período de agosto a novembro de 2006, utilizando-se os procedimentos experimentais conforme descrito no item 2.2.1.1. A solução nutritiva do IAC

sofreu uma modificação quanto ao fornecimento de N, K e Ca, substituindo-se o nitrato de cálcio e nitrato de potássio pelo nitrato de amônio enriquecido com ^{15}N. Realizou-se o balanceamento do K e Ca com o emprego de KCl e $CaCl_2$. Foram transplantadas inicialmente quatro plântulas por vaso e desbastadas para duas após duas semanas.

O experimento foi dividido em dois grupos de vasos definidos como "absorção de N aplicado em diferentes estádios" e "aproveitamento pelas plantas de N aplicado em diferentes estádios", cada formado por trinta vasos. Cada grupo foi subdividido em subgrupos de 15 vasos referente às cinco aplicações com três repetições, onde foi aplicado em quinze vasos o $^{15}NH_4NO_3$, isto é, marcado no amônio e, nos quinze restantes o $NH_4{}^{15}NO_3$, marcado no nitrato.

No primeiro grupo, definido como "absorção de N aplicado em diferentes estádios", realizou-se a colheita das plantas uma semana após as aplicações da solução com o N marcado. Durante essa semana, a irrigação dos vasos foi feita com o recipiente coletor que continha a solução nutritiva com a fonte de N marcado correspondente ao período de aplicação.

No outro grupo de vasos (mesma quantidade do grupo anterior) denominado "aproveitamento pelas plantas de N aplicado em diferentes estádios", as plantas foram mantidas ao longo do ciclo de desenvolvimento, efetuando-se a coleta aos 77 DAT. Depois de decorrida uma semana da aplicação da solução marcada, os vasos foram irrigados com água deionizada por três vezes consecutivas para retirar qualquer quantidade de solução nutritiva com N marcado. Posteriormente, até o final do ciclo os vasos continuaram com o fornecimento de nutrientes mediante solução nutritiva sem N marcado. No grupo "absorção de N aplicado em diferentes estádios", o nitrato de amônio apresentava a molécula de NO_3^- marcada com 1,359% de ^{15}N e no NH_4 com 1,189% de enriquecimento. No outro grupo ("aproveitamento pelas plantas de N aplicado em diferentes estádios"), o excesso de ^{15}N foi 5,37% e 5,44% para o NO_3^- e o NH_4^+, respectivamente.

Na época da coleta, em ambos os grupos, as plantas foram separadas em parte aérea (PA), raízes e tubérculos. O material foi identificado, acondicionado em sacos de papel, seco em estufa a 60 °C por 72 horas, pesado em balança de precisão para determinação da matéria seca e logo moídas em moinho tipo Willey. Efetuou-se a determinação de N total pelo método de micro Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) e o enriquecimento isotópico de átomos de ^{15}N foi determinado em espectrômetro de massa (IRMS), no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, conforme metodologia descrita em Barrie e Prosser, (1996). Para determinar a

eficiência de utilização do N do nitrato de amônio das plantas de batata marcadas com ^{15}N, baseou-se no princípio da diluição isotópica, considerando-se o enriquecimento em % de átomos de ^{15}N, a quantidade de ^{15}N na planta e descontando-se a variação natural do isótopo estável ^{15}N. A partir das determinações, os cálculos foram realizados a partir das seguintes fórmulas, considerando-se duas plantas por vaso:

$$\%N_{PPF} = [(\text{átm. \% } ^{15}\text{N em exc plant.- \% Abund. Nat.})/ \text{ átm. \% } ^{15}\text{N em exc.fert}] \times 100 \quad (1)$$

$$Q_{NPPF} = (\% N_{PPF}/100) \times Qntp \quad (2)$$

$$R(\%) = (Q_{NPPF}/Q_{NA}) \times 100 \quad (3)$$

onde:

$\%N_{PPF}$ = porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

átm. % ^{15}N em exc plant = átomo % de ^{15}N em excesso na planta

% Abund. Nat. = átomo % de ^{15}N de abundância natural (0,366%)

átm. % ^{15}N em exc fert = átomo % de ^{15}N em excesso no fertilizante

Q_{NPPF} = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante

Qntp = quantidade de nitrogênio total na planta

R(%) = porcentagem de nitrogênio recuperado ou aproveitado pela planta, na forma nítrica ou amoniacal, proveniente do fertilizante.

Q_{NA} = quantidade de nitrogênio aplicado na solução nutritiva

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, com três repetições e cinco tratamentos, referentes às épocas de aplicação do NH_4NO_3 marcado: 14, 28, 42, 56 e 70 DAT.

2.2.2 Caracterização do substrato utilizado nos experimentos

O substrato utilizado nos experimentos foi a argila expandida Cinexpan, tipo 0500 com densidade aparente de 830 – 890 kg m^{-3}, produzido pela CINEXPAN Indústria e Comércio Ltda (CINEXPAN, 2006). As propriedades químicas (Tabela 5) foram determinadas de acordo com os métodos analíticos descritos por Raij et al. (2001).

Tabela 5 - Características químicas do substrato utilizado nos experimentos

pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	H +Al	SB	CTC	V
$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}		----------mmol$_c$ dm^{-3}----------						-----%-----
7,0	8,0	18	24	3,4	8,0	2,0	8,0	13,4	21,4	63,0

B	Cu	Fe	Mn	Zn
----------mg dm^{-3}----------				
- (1)	0,4	5,0	0,5	0,4

(1) Valor menor que 0,1

2.2.3 Cultivar

Utilizou-se o cultivar 'Atlantic', originado do cruzamento de B5141-6 (Lenape) x Wanseon, produzido e selecionado pelo Ministério de Agricultura dos Estados Unidos em 1969. Esse cultivar 'Atlantic' apresenta as seguintes características principais:

-Características botânicas: plantas medianamente grandes; porte ereto; hastes grossas e roxas na base, formando uma pigmentação ou pequenas manchas irregulares para cima, com nós ligeiramente inchados. Folhas medianamente pubescentes, lisas de cor verde brilhante. Folíolos terminais grandes e ovalados; ápice cuspidado; base obtusa e assimétrica. Folíolos primários grandes e ovalados; ápice cuspidado, base obtusa, principalmente assimétrica, com três pares. Folíolos secundários e terciários numerosos. Flores numerosas com cor lavanda pálido, sobre gemas fortemente pubescentes, com uma pigmentação lavanda difusa sobre um fundo verde.

-Características agronômicas: alto rendimento, boa aparência, grande adaptabilidade, porém não recomendada para solos arenosos e secos. A produção de tubérculos de maior tamanho e com coração-oco, pode ser evitada com uma adubação moderada, um espaçamento mais estreito e o controle adequado da irrigação. O conteúdo total em glicoalcaloides é baixo e em material seco é elevado. A densidade específica é elevada.

-Tubérculos: ovalados a redondos, lisos; película branca, ligeiramente reticulada a muito escamada; "olhos" superficiais; polpa branca.

-Brotos: roxos.

-Maturação: semiprecoce (90 – 120 dias).

-Uso: industrial (chips, palito, palha) (ELMA CHIPS, 2000; MIRANDA FILHO; GRANJA; MELO, 2003).

2.2.4 Material de plantio

Foi utilizado material (mudas) *in vitro*, da categoria pré-básica, produzido pelo laboratório de cultura de tecidos da Seção de Raízes e Tubérculos do Centro de Horticultura do IAC, Campinas, SP, Brasil. As plântulas foram transportadas em potes plásticos fechados, próprios para a cultura de tecidos, contendo meio nutritivo à base de Ágar.

2.2.5 Análise dos resultados

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas, utilizando-se o programa estatístico SAS – System for Windows 6.11 (SAS Inst., 1996). Efetuou-se a análise da variância e, de acordo com o nível de significância do teste F e do experimento, procedeu-se às comparações de medias pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$), ou ao estudo de regressão para os componentes de primeiro, segundo e terceiro grau pelo procedimento GLM.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Experimento 1: Doses de N e K na solução nutritiva para produção de batata-semente

2.3.1.1 Variação do pH e CE

Observou-se que a variação do pH e da CE nas soluções nutritivas usadas para as diferentes combinações de doses manteve-se dentro de uma faixa de valores considerados como tolerável (Tabela 6) por Furlani et al. (1999b).

Segundo estes autores, valores de pH entre 4,5 e 7,0 são tolerados sem ocasionar problemas ao crescimento das plantas. Esta condição de pH, no desenvolvimento de trabalhos de produção ou pesquisa em soluções nutritivas apresenta-se como um fator fundamental de sucesso ou fracasso, já que uma grande parte das soluções nutritivas não apresenta poder tampão, variando o pH continuamente, sem se manter dentro de uma faixa ideal. No presente experimento os valores iniciais foram próximos a 5,5 e ao final do período de troca da solução mantiveram-se ao redor de 6,50. Isto permite inferir que não houve efeito prejudicial destes fatores. Entretanto, a CE que está relacionada com a salinidade na solução nutritiva, variou no inicio do período entre 1500 e 1900 μS cm^{-1}, predominando valores próximos a 1700 μS cm^{-1}, no final atingindo 700 a 900 μS cm^{-1}. A diminuição da CE da solução nutritiva era esperada devido ao acréscimo de água

deionizada no recipiente coletor prévio à irrigação, ocasionando diluição nos componentes da solução nutritiva. Feltran (2005), em experimentos com a fórmula 8-28-6, realizados em solos, obteve valores de 2,29 a 6,77 dS m^{-1}, atribuindo principalmente ao K e N a causa do aumento da concentração salina na solução do solo, o que conseqüentemente aumenta a CE, e à textura e umidade do solo as variações de CE entre estes solos.

Como segundo Mass e Hoffman (1977) o potencial produtivo da batata é menor com valores de CE acima de 1,7 dS m^{-1}, os valores iniciais podem ter afetado a produtividade das plantas.

Tabela 6 - Valores médios de pH e CE nas soluções nutritivas ao inicio e fim do período de troca

Combinação	Solução Inicial		Solução Final	
de dose	pH	CE (µS cm^{-1})	pH	CE (µS cm^{-1})
N1K1	5,76	1660	6,84	715
N2K1	5,77	1680	6,73	692
N3K1	5,66	1720	6,49	751
N4K1	5,59	1690	6,37	837
N5K1	5,18	1730	6,15	895
N1K2	5,85	1510	6,84	659
N2K2	5,68	1530	6,63	722
N3K2	5,61	1650	6,56	742
N4K2	5,72	1780	6,41	875
N5K2	5,69	1850	6,45	991
N1K3	5,77	1670	6,79	703
N2K3	5,75	1680	6,63	720
N3K3	5,72	1660	6,68	744
N4K3	5,41	1740	6,54	772
N5K3	5,47	1810	6,48	832
N1K4	5,66	1540	6,78	769
N2K4	5,62	1680	6,72	829
N3K4	5,51	1730	6,53	775
N4K4	5,55	1800	6,55	866
N5K4	5,41	1840	6,55	913
N1K5	5,53	1610	6,59	685
N2K5	5,49	1790	6,55	728
N3K5	5,54	1770	6,53	678
N4K5	5,38	1870	6,44	883
N5K5	5,58	1900	6,49	861

2.3.1.2 Produção de matéria seca

Apesar da exportação de K nos tubérculos ser 1,5 vezes maior que a do N (YORINORI, 2003), neste trabalho a produção de MS da parte aérea e dos tubérculos não foi afetada significativamente pelo K e pelas interações de N e K. Reis Junior e Monnerat (2001) também não verificaram efeito da adubação com K na produção de matéria seca de tubérculos, porém observaram aumento significativo de produção de matéria fresca de tubérculo. Os autores comentam que isso ocorreu possivelmente, porque o aumento das doses de K favoreceu o

acúmulo de água nos tubérculos. Como o potássio não faz parte de estruturas celulares conhecidas, especula-se que o aumento do teor de K nos tecidos dos tubérculos (REIS JUNIOR; MONNERAT, 1997) reduziu o potencial hídrico e favoreceu o acúmulo de água nestes tecidos.

Por outro lado Reis Júnior (1995) verificou que a aplicação de doses crescentes de potássio na cultura da batata aumentou a disponibilidade do nutriente no solo e a quantidade de matéria seca produzida pelas plantas.

A interação entre N e K é reconhecida há muito tempo com relação à produção de matéria seca, produção de grãos e qualidade do produto colhido (MACLEOD, 1969; DIBB; THOMPSON JUNIOR, 1985) e embora existam consideráveis evidências que essa interação melhore esses parâmetros (LEE; RUDGE, 1986; ROSOLEM, 2005; VIANA, 2007) não houve efeito positivo neste estudo.

Westermann et al. (1994a), avaliando o efeito da fertilização potássica e nitrogenada, observaram redução da MS e da concentração de amido nos tubérculos com esses dois nutrientes, atribuindo a diminuição causada pelo K ao incremento do conteúdo de água no tubérculo. O K é importante para a translocação de açúcares de síntese e amido (REIS JUNIOR; FONTES, 1996), afetando assim a produtividade e a qualidade dos tubérculos (WESTERMANN et al., 1994a).

Entretanto, houve efeito isolado do N na produção de MS dos tubérculos e da parte aérea. As curvas estão apresentadas nas Figuras 1 e 2 e verifica-se que houve um incremento significativo ($P \leq 0,01$) na produção de MS dos tubérculos e da PA com as doses de N, ambas se ajustando ao modelo linear de regressão.

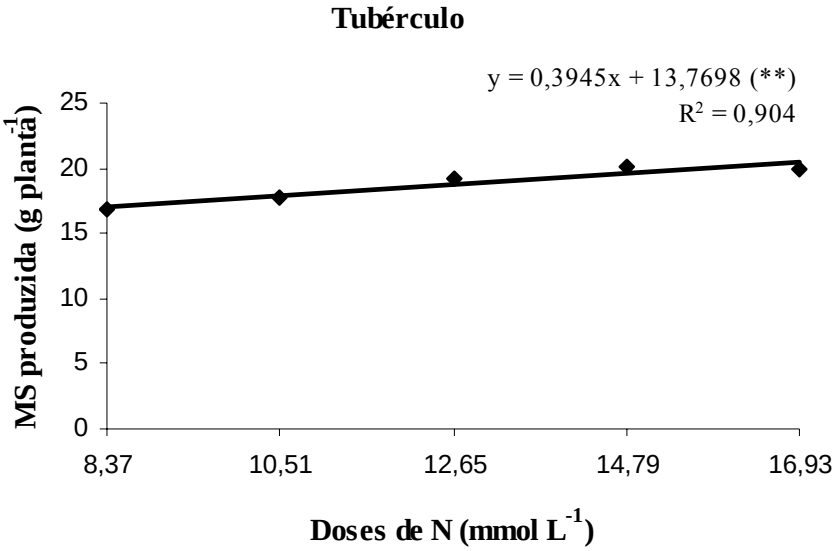


Figura 1 – Matéria seca produzida do tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de N e K. **Significativo a 1% de probabilidade

Apesar de Magalhães (1985) ter observado que o N tendeu a diminuir a matéria seca de tubérculos, De La Morena, Guillen e Del Moral (1994), avaliando o efeito desse macronutriente no crescimento de cultivares de batata, verificaram que o N aumentou a massa dos tubérculos, como também observado por outros autores (HARRIS, 1978; MILLAR; MACKERRON, 1986; GEARY et al., 2004).

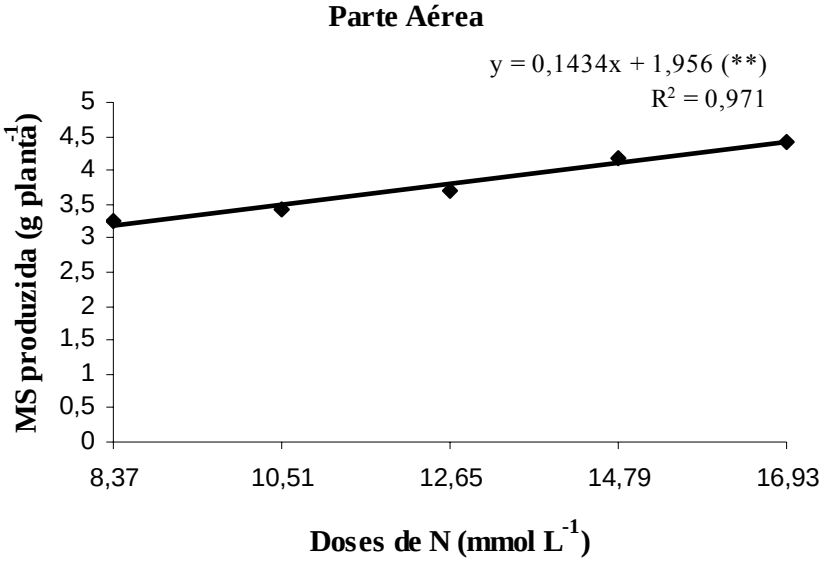


Figura 2 – Matéria seca produzida da parte aérea de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de N e K. **Significativo a 1% de probabilidade

2.3.1.3 Acúmulo de nitrogênio e potássio

Com relação ao acúmulo de N a análise da variância não acusou diferenças significativas nas interações. Entretanto, foi observada resposta linear e positiva ($P \leq 0,01$) das doses de nitrogênio no acúmulo de N em tubérculo e PA (Figuras 3 e 4). Embora Viana (2007) tenha observado interação significativa para o acúmulo de N em espigas de trigo, não obteve o mesmo efeito ao avaliar a interação de N e K nas folhas e raízes dessa cultura.

Com o aumento das doses de N verificou-se um aumento linear do N tanto nos tubérculos como na PA. O acúmulo de N nos tubérculos aumentou com o fornecimento das doses de N variando de 252,31 a 355,82 mg planta^{-1}, enquanto que na PA a variação foi menor, 103,92 a 172,11 mg planta^{-1}.

Viana (2007), cultivando plantas de trigo com combinações de N e K, também observou efeito linear das doses de N no acúmulo de N nas folhas das plantas.

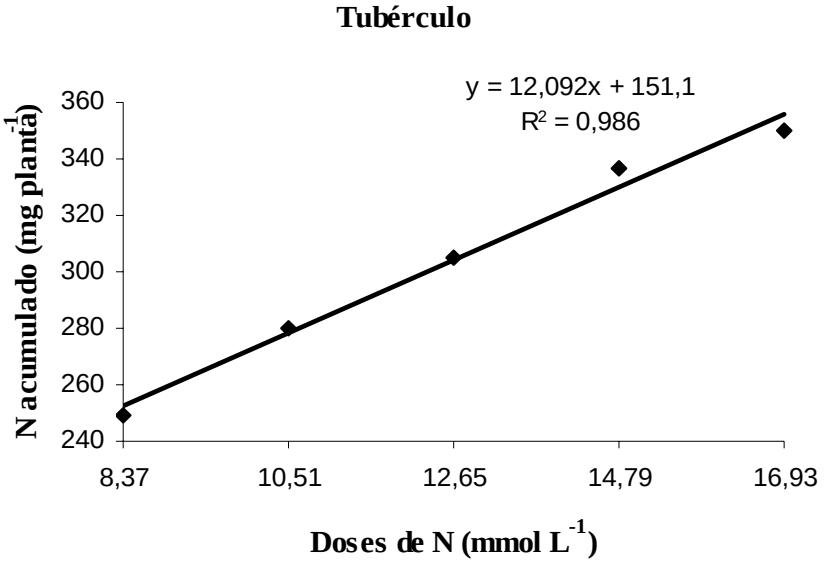


Figura 3 – Nitrogênio acumulado no tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de N. **Significativo a 1% de probabilidade

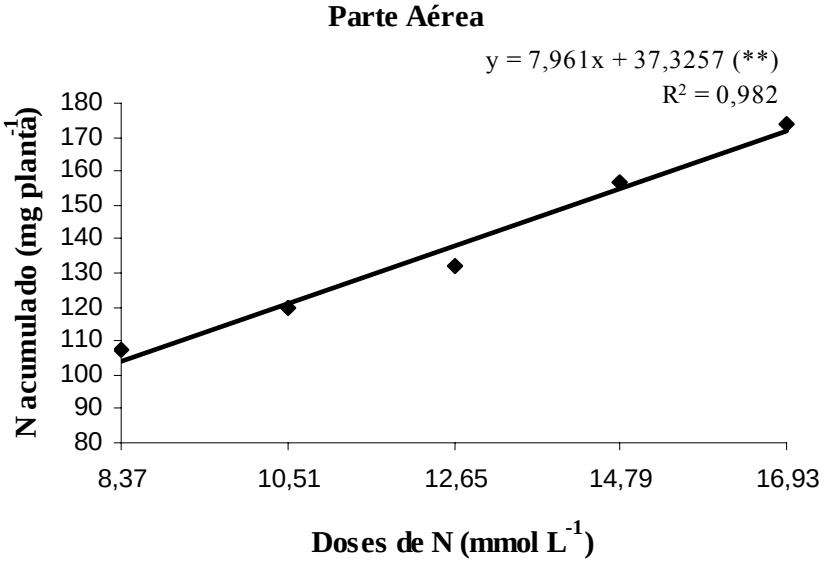


Figura 4 – Nitrogênio acumulado na parte aérea de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de N. **Significativo a 1% de probabilidade

Para o acúmulo de K nos tubérculos e na PA não se detectou significância para as interações de N e K.

No entanto, observou-se o efeito isolado do K no acúmulo deste nutriente nos tubérculos e PA. Conforme apresentando nas Figuras 5 e 6, notou-se melhor ajuste ao modelo linear de regressão para as doses de K nos tubérculos ($P \leq 0,05$) e PA ($P \leq 0,01$). Na Figura 5 verificou-se que embora as doses de K aplicadas na solução nutritiva tenham proporcionado maior acúmulo deste nutriente nos tubérculos, os dados não se ajustaram adequadamente (R^2 baixo) ao modelo matemático testado (linear).

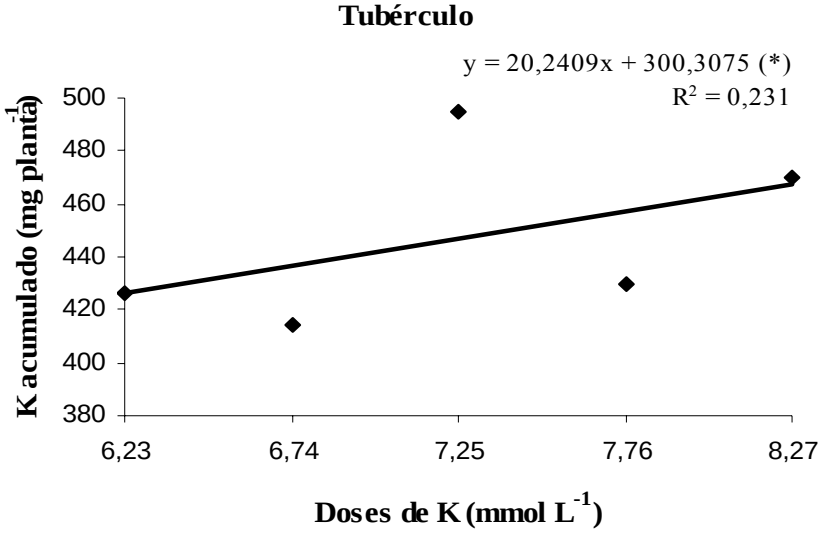


Figura 5 – Potássio acumulado em tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de K. *Significativo a 5% de probabilidade

Embora Viana (2007) tenha observado interação significativa para o acúmulo de K em espigas de trigo, não obteve o mesmo efeito ao avaliar a interação de N e K nas folhas e raízes dessa cultura.

Apesar das doses de K fornecidas na solução nutritiva tenham proporcionado maior acúmulo deste nutriente na PA, os dados não se ajustaram adequadamente ao modelo matemático testado (Figura 6).

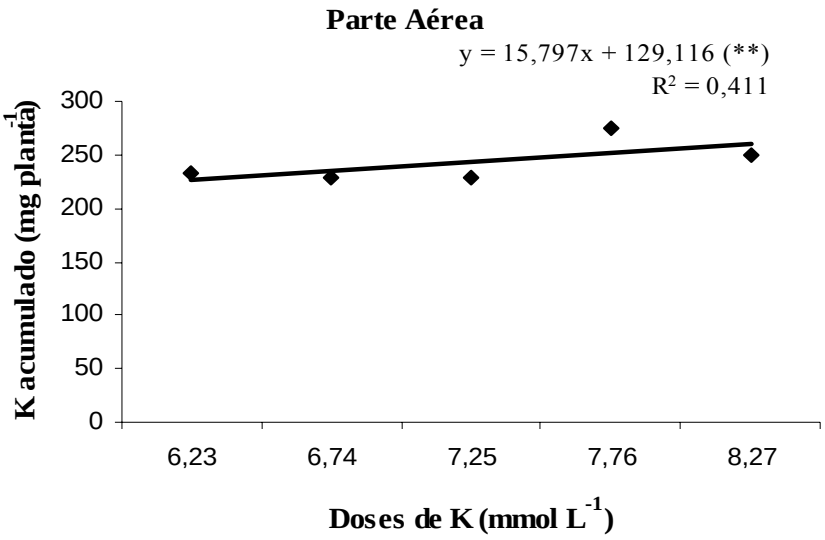


Figura 6 – Potássio acumulado em PA de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de K. **Significativo a 1% de probabilidade

Conforme apresentando na Figura 7, as doses de N influenciaram significativamente ($P \leq$ 0,05) o acúmulo de K somente na PA e os dados ajustaram-se ao modelo quadrático. As doses máximas de K avaliadas proporcionaram nos tubérculos o acúmulo de 467,70 mg planta^{-1} e na PA 259,76 mg planta^{-1}. As doses de N registraram respostas quadráticas significativas ($P \leq 0,05$) para o acúmulo de potássio apenas na PA (Figura 7), com a maior dose avaliada o acúmulo de potássio foi de 281,34 mg planta^{-1} e na dose de referencia de 253,49 mg planta^{-1}.

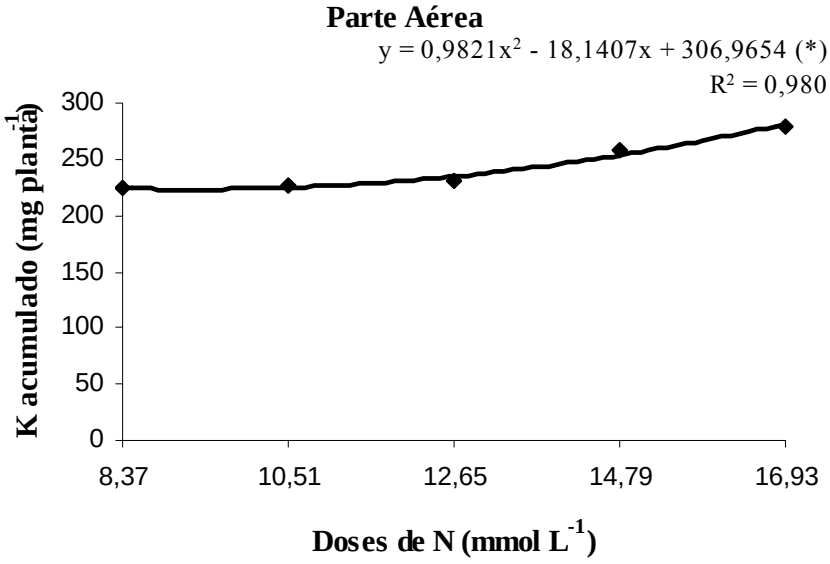


Figura 7 – Potássio acumulado em PA de plantas de batata ao longo do ciclo, em função de doses de N. *Significativo a 1% de probabilidade

2.3.1.4 Perda de peso em tubérculo-semente

A perda de peso em tubérculo-semente foi avaliada por todas as interações das combinações de doses de N e K estudadas neste experimento, selecionando-se os modelos de regressão polinomial que mais se ajustassem aos dados obtidos, fazendo isto para 'potássio dentro de nitrogênio' e 'nitrogênio dentro de potássio'.

Após o desdobramento das interações verificou-se que só houve significância ($P \leq 0,01$) para a perda de peso em tubérculo na dose de 12,65 mmol L^{-1} de N (N3) ao ser estudado o potássio dentro de nitrogênio, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 8). Pela equação obtida, calculou-se o ponto de mínimo, acontecendo na dose de 7,03 mmol L^{-1} de K correspondendo à desidratação no tubérculo-semente de 37,16 %.

Esta porcentagem de perda de peso é inferior ao que ocorreria usando no ajuste matemático calculado, a dose de potássio (6,23 mmol L^{-1}) empregada na rotina de produção do IAC (40,34 %). O que possibilita relacionar as interações benéficas de doses do nitrogênio com o potássio na turgidez do tubérculo, e podendo-se prever uma melhoria na qualidade dos tubérculos-semente após certo período de armazenagem. Estes resultados permitem inferir que a

combinação da doses de 12,65 mmol L^{-1} de N com a de 7,03 mmol L^{-1} de K poderia ser usada para obter tubérculo-semente com maior resistência à desidratação.

Parece ser comum entre produtores de batata-semente que utilizam um sistema de produção semelhante ao do IAC, isto é, plântulas in vitro, cultivo protegido, estufa, substratos, produção de tubérculos sujeitos as normas de certificação, e o uso de formulações com concentração de nutrientes similares às apresentadas na Tabela 3. Portanto, melhor acerto na proporção de nutrientes, como os estudados aqui, contribuiria para elevar a qualidade dos tubérculos-sementes destes produtores, principalmente em sistemas de produção de sementes pré-básicas que apresentam como característica comum reduzida eficiência, em razão dos baixos índices de multiplicação de tubérculos (MEDEIROS et al, 2002).

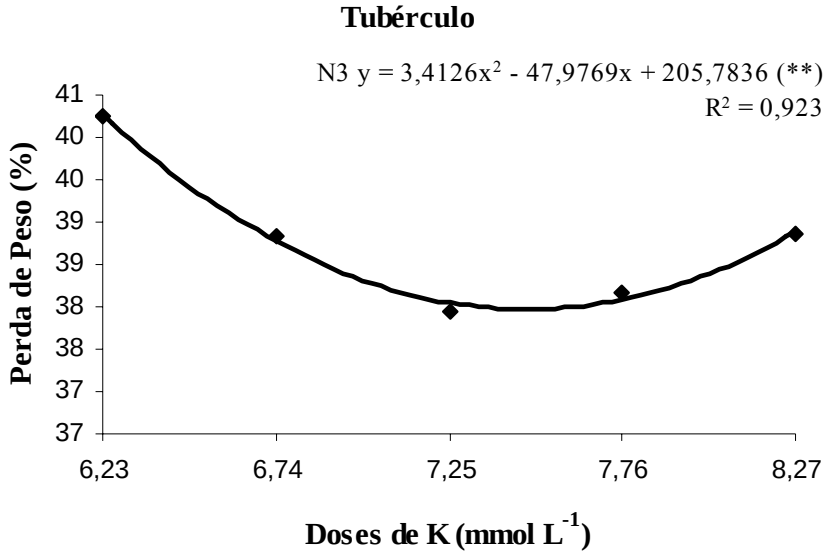


Figura 8 – Perda de peso em tubérculos armazenados, em função da interação de doses de N e K.
**Significativo a 1% de probabilidade

2.3.2 Experimento 2: Marcha de absorção de nutrientes na produção de batata-semente

2.3.2.1 Acúmulo de matéria seca

Os acúmulos de MS em folha e caule foram significativos ($P \leq 0,01$) e ajustaram-se a modelos cúbicos e quadráticos de regressão, respectivamente (Figura 9). Yorinori (2003), avaliando o mesmo cultivar em campo nas safras das águas e da seca, também coincidiu no ajuste do modelo cúbico de regressão para caule, folha e tubérculos. Em folha o acúmulo máximo ocorreu aos 66 DAT, com valor de 4,08 g planta^{-1}. Verificou-se um aumento constante da matéria seca, sendo nas primeiras semanas de avaliação pequeno, mas a partir dos 28 DAT mais expressivo e intenso até atingir o valor máximo. Daí em diante houve uma estabilização no acúmulo e logo leve decréscimo, refletindo a senescência da folhagem. O crescimento das plantas na casa-de-vegetação, sob temperaturas elevadas no período em que foi conduzido o experimento (Tabela 1), foi rápido e fez com que o ciclo da planta fosse menor do que em campo, onde com facilidade se superam os 90-100 dias. Observou-se que as plantas no decorrer do ciclo não desenvolveram grande quantidade de folhagem, como ocorre com este cultivar quando cresce em campo e que é peculiar do cultivar. Os folíolos primários característicos do cultivar assemelhavam-se mais a folíolos terciários. Favoretto (2005), determinando curvas de crescimento e de absorção de nutrientes em 'Atlantic' em estufa comercial, observou que aos 49 DAT a PA atingiu o valor máximo de 8,65 g planta^{-1} de acúmulo de MS. Em caule, A MS produzida não atingiu um ponto de máximo, mesmo sendo explicado o comportamento por uma equação quadrática, porém o maior valor obtido nos 70 DAT foi de 3,99 g planta^{-1}. A somatória de caule e folha resultou em valores coincidentes com os obtidos por Favoretto (2005).

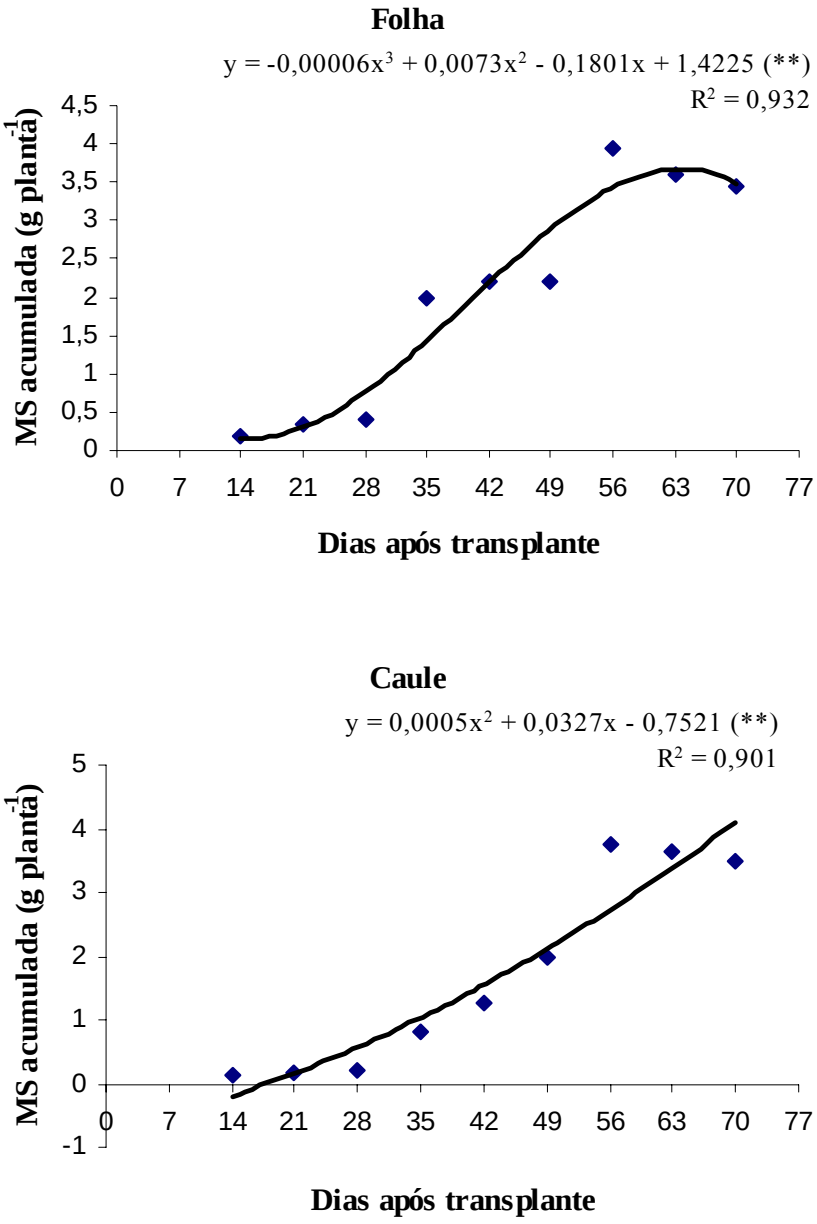


Figura 9 – MS acumulada em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. **Significativo a 1% de probabilidade

Os acúmulos de MS em raiz e tubérculo foram significativos ($P \leq 0,05$) e ajustaram-se a modelos quadrático e linear de regressão, respectivamente (Figura 10). Em raiz, inicialmente o acúmulo foi lento e percebeu-se que as plântulas, por serem oriundas de cultura de tecidos, apresentam sistema radicular escasso e pouco desenvolvido. A partir dos 35 DAT o acúmulo foi mais acentuado e constante até os 70 DAT quando atingiu o maior valor de 0,81 g planta^{-1}. Em tubérculos, o acúmulo só foi percebido a partir dos 49 DAT, em que se observou já iniciando a tuberização. Estes valores foram mais tardios do que os reportados por Favoretto (2005), que com apenas 32 DAT, constatou a diferenciação dos estolhos. O inicio da tuberização no presente experimento coincidiu com a fase em que o desenvolvimento da folhagem foi máximo, permitindo deduzir a importância da PA para a obtenção de alta produtividade, pois, é nessa fase em que ocorre a translocação de nutrientes e fotoassimilados para os tubérculos (ROBERTS; DOLE, 1985). Em campo, o inicio de tuberização foi reportado com o cv. 'Atlantic' ocorrendo 35 e 40 dias após o plantio nas épocas da seca e das águas, respectivamente (YORINORI, 2003).

A taxa de acúmulo de MS em tubérculo foi de 186,70 mg dia^{-1}, atingindo aos 70 DAT o valor máximo de 4,79 g planta^{-1}. Esta taxa de acúmulo foi maior à reportada por Favoretto (2005) de aproximadamente 1,0 g por semana.

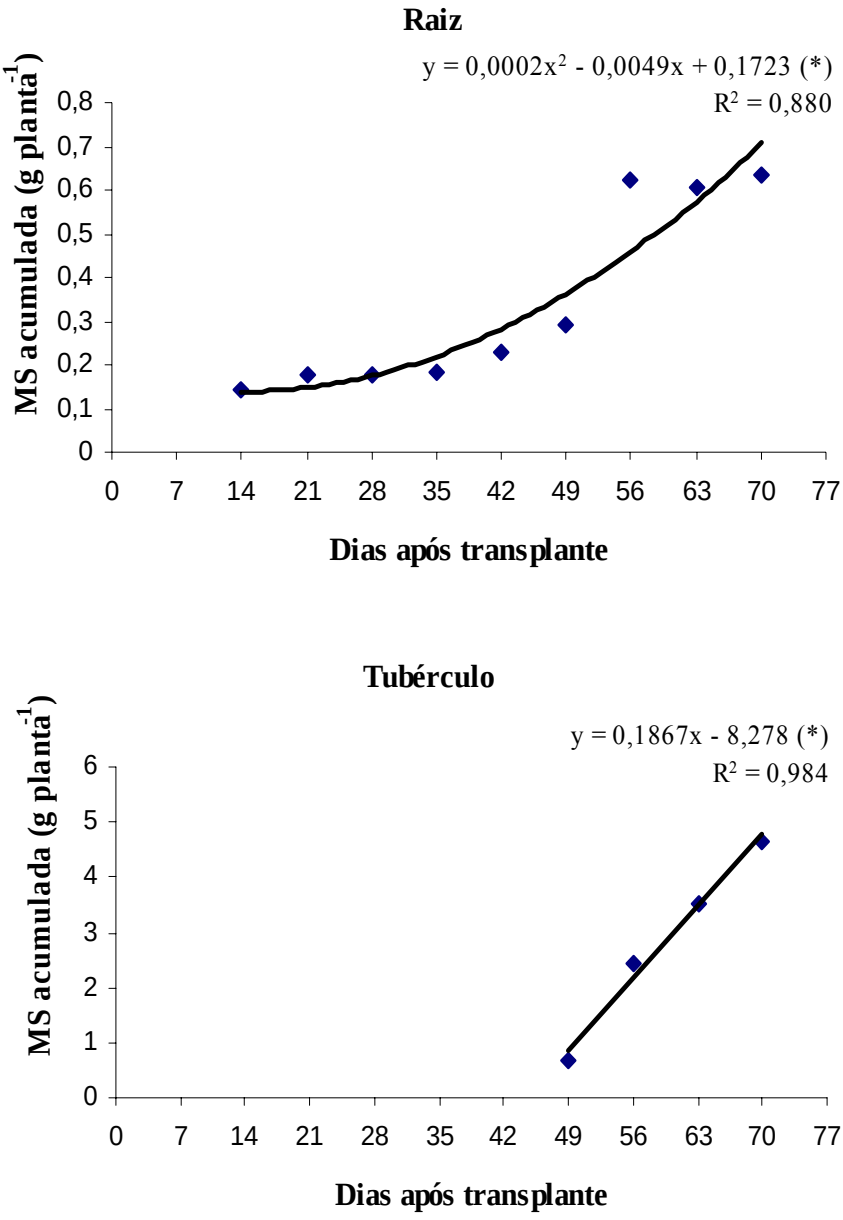


Figura 10 – MS acumulada em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. *Significativo a 5% de probabilidade

2.3.2.2 Acúmulo de macronutrientes

As curvas de acúmulo de nutrientes são apresentadas nas Figuras 11 a 32. Na maioria dos nutrientes os acúmulos em folha e caule ajustaram-se a modelos cúbicos ou quadráticos de regressão, enquanto que nas raízes predominou o ajuste a modelos quadráticos e em tubérculos só lineares. De maneira geral, nos componentes da PA e raiz a seqüência observada pode ser descrita em três períodos de acúmulo: uma primeira fase de moderada absorção de nutrientes que ocorre entre os 14 a 28 DAT, logo um período de intensa absorção, onde os acúmulos são elevados e se dá entre os 28 a 56 DAT, e uma terceira e última fase em que a absorção e acúmulo são baixos, ocorreu entre os 56 a 70 DAT. Nesta fase, em alguns nutrientes houve um leve decréscimo. No componente tubérculo, o acúmulo se observou a partir dos 49 DAT caracterizando-se por ser muito elevado e constante. O acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta acompanhou, como era de esperar, a curva de acúmulo de MS. A maioria das pesquisas consultadas sobre absorção e exportação de nutrientes em batateira e outras culturas apresenta resultados similares (GARGANTINI et al., 1963; FONTES, 1999; FAYAD, MONDARDO; OLIVEIRA, 2000; YORINORI, 2003; FAVORETTO, 2005). Neste caso, por se tratar de um sistema de produção dirigido à obtenção de batata-semente e desenvolvido num período com temperaturas elevadas (Tabela 1), com ciclo menor ao que ocorre em campo, os valores de acúmulo de nutrientes, assim como de MS e produtividade foram menos expressivos.

2.3.2.2.1 Nitrogênio

Os acúmulos de nitrogênio foram significativos em folha ($P \leq 0,05$) e caule ($P \leq 0,01$) e ajustaram-se a modelos cúbicos de regressão (Figura 11). Em folha, o maior acúmulo ocorreu aos 62 DAT quando atingiu o valor de 198,24 mg planta^{-1}. Em caule registrou-se aos 67 DAT com valor de 78,43 mg planta^{-1}, assemelhando-se com os valores de 279,41 mg planta^{-1} de Favoretto (2005) em PA (folha+caule). Porém, são valores consideravelmente menores aos reportados em campo, quando atinge entre 180,58 a 287,25 mg planta^{-1} em caule e 573,04 a 789,48 mg planta^{-1} em folhas (YORINORI, 2003), e em outros cultivares (PAULA; FONTES; NOGUEIRA, 1986), fato este explicado pelo maior desenvolvimento da planta em condições de campo e época de plantio. Em raiz e tubérculo os acúmulos de nitrogênio foram significativos ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$) e ajustaram-se a modelos quadrático e linear de regressão, respectivamente (Figura 12). Em raiz verificou-se aos 70 DAT um acúmulo de 15,15 mg planta^{-1}. Em tubérculo o valor máximo

alcançado foi de 105,86 mg planta^{-1} ao final do ciclo, e foi extremamente inferior aos 2933,54 mg planta^{-1} reportados em campo por Yorinori (2003). A taxa de acúmulo em tubérculos registrou valores de 3,98 mg planta^{-1} dia^{-1}.

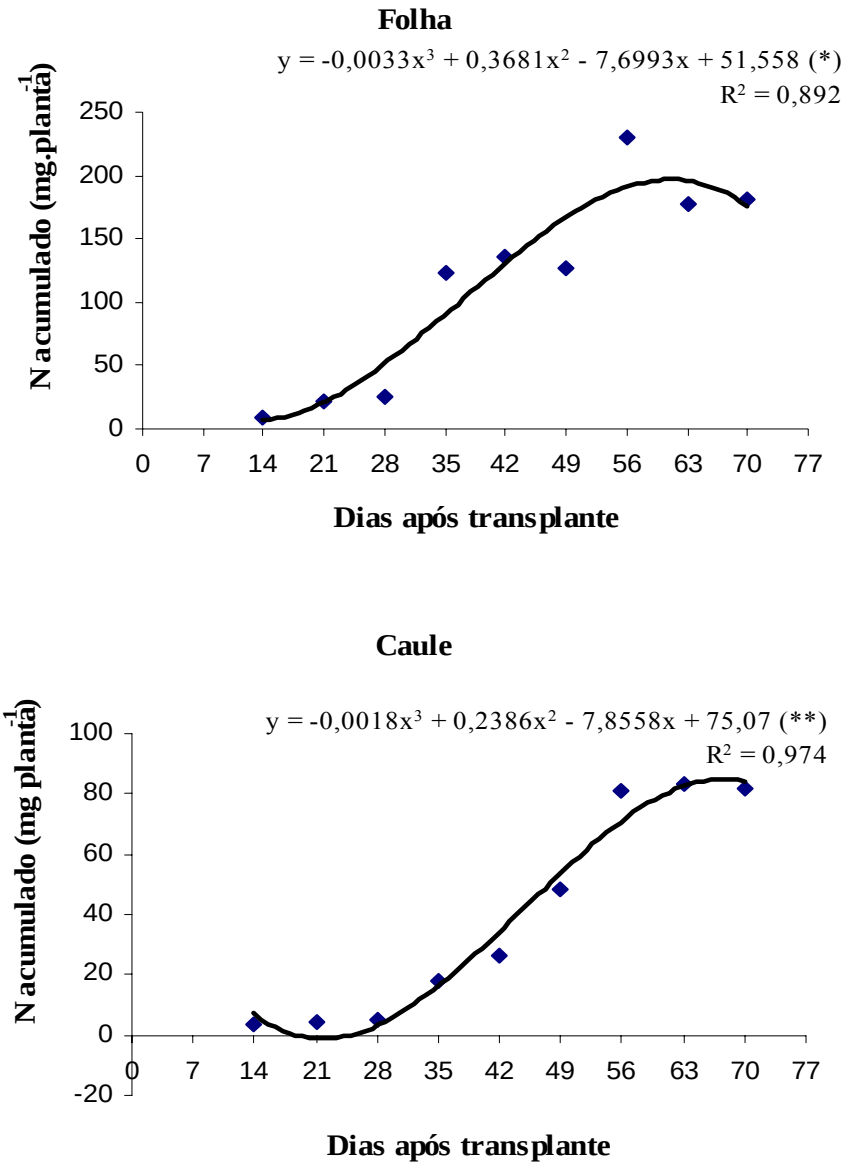


Figura 11 – Nitrogênio acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

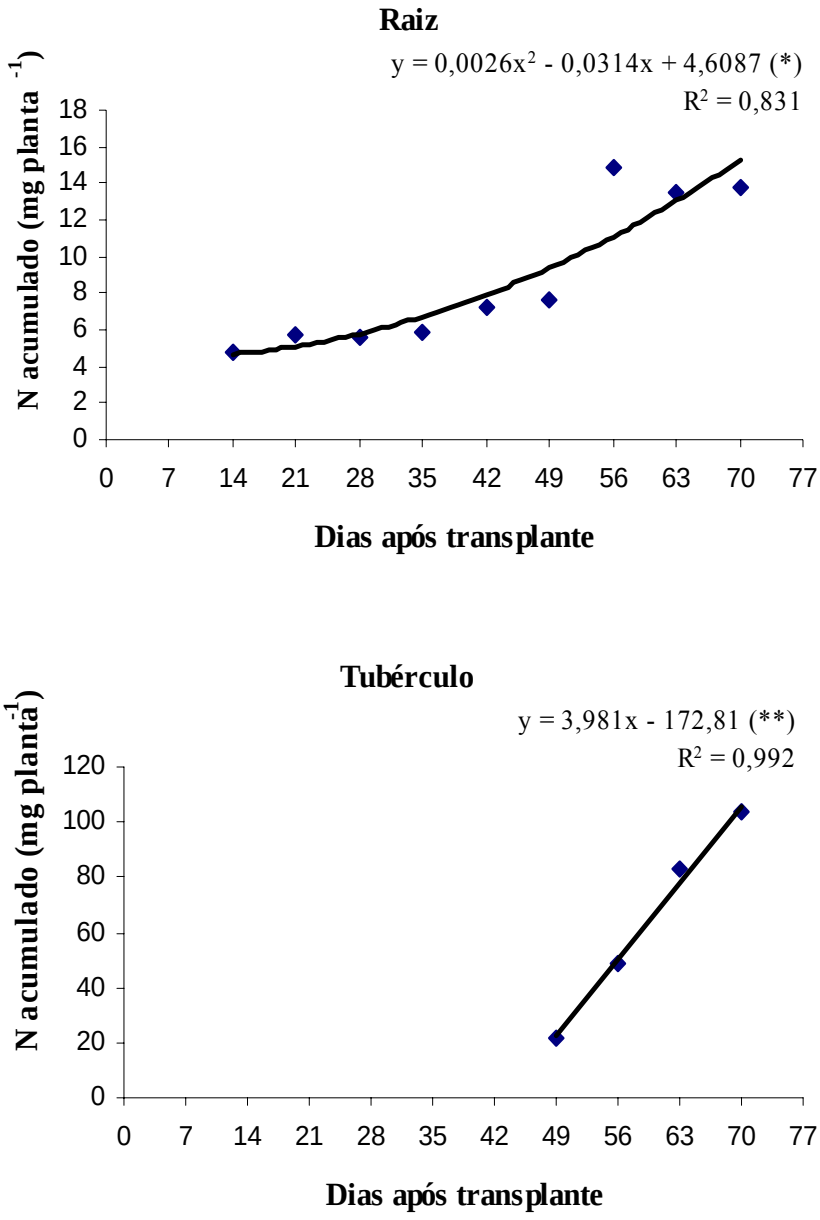


Figura 12 – Nitrogênio acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.2.2 Fósforo

O acúmulo de fósforo em folha e caule é mostrado na Figura 13. Ajustou-se a um modelo cúbico de regressão sendo significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$, respectivamente. Em folha o maior acúmulo foi de 21,92 mg planta^{-1} e ocorreu aos 65 DAT. No caule o maior acúmulo se deu aos 69 DAT com valor de 19,74 mg planta^{-1}. Em raiz o acúmulo de fósforo foi significativo ($P \leq 0,05$) e explicado pelo ajuste ao modelo quadrático de regressão (Figura 14). Aos 70 DAT registrou-se o maior acúmulo de 2,28 mg planta^{-1}. Verifica-se que houve uma coincidência com os valores obtidos em campo por Yorinori (2003) com o mesmo cv Atlantic na época da seca (1,56 mg planta^{-1}), porém, valores superiores foram registrados por Favoretto (2005) aos 53 DAT (8,52 mg planta^{-1}). A tendência de acúmulo de fósforo nas raízes foi crescente a partir do inicio das avaliações e se manteve até o final, ao contrario do observado por Yorinori (2003) em campo na safra da seca que obteve um decréscimo a partir dos 26 dias após o plantio (DAP) que se manteve até o período de colheita. Isto sugere a dependência da planta às interações que no solo ocorrem com este nutriente, especialmente as relacionadas com os processos de fixação do P no solo (RAIJ, 1991; HAVLIN et al., 2005).

O acúmulo de fósforo em tubérculo é apresentado na Figura 14. Foi significativo ($P \leq 0,01$), ajustando-se ao modelo linear de regressão, sendo que o acúmulo máximo de fósforo foi de 18,27 mg planta^{-1} ao final do ciclo. Percebeu-se um acúmulo crescente e constante de fósforo em estes dois órgãos da planta, concordando com os dados de Yorinori (2003) em campo, porém diferindo com os de Favoretto (2005), que observou curvas decrescentes do inicio ao final de ciclo. A taxa de acúmulo de fósforo em tubérculo apresentou valores de 0,692 mg planta^{-1} dia^{-1}. O P está associado a diversas funções vitais no metabolismo das plantas como armazenamento e transferência de energia (ATP) e de natureza estrutural em macromoléculas como o DNA; esse nutriente é absorvido principalmente durante o estágio vegetativo de desenvolvimento das plantas e posteriormente, mais do que absorvido, o P é retranslocado para frutos e sementes durante os estágios reprodutivos (MARSCHNER, 1995). O acúmulo de fósforo em tubérculo correspondeu ao 29,37% do total acumulado.

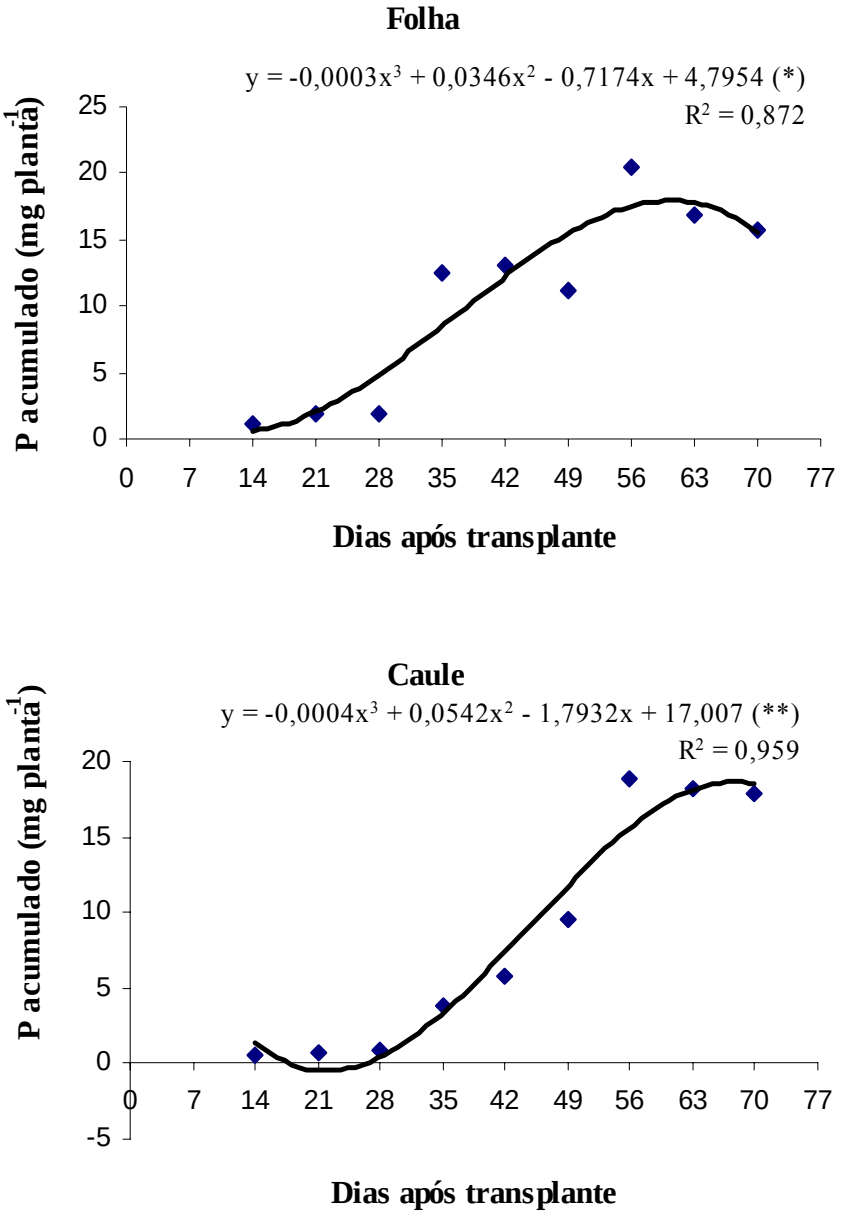


Figura 13 – Fósforo acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. . * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

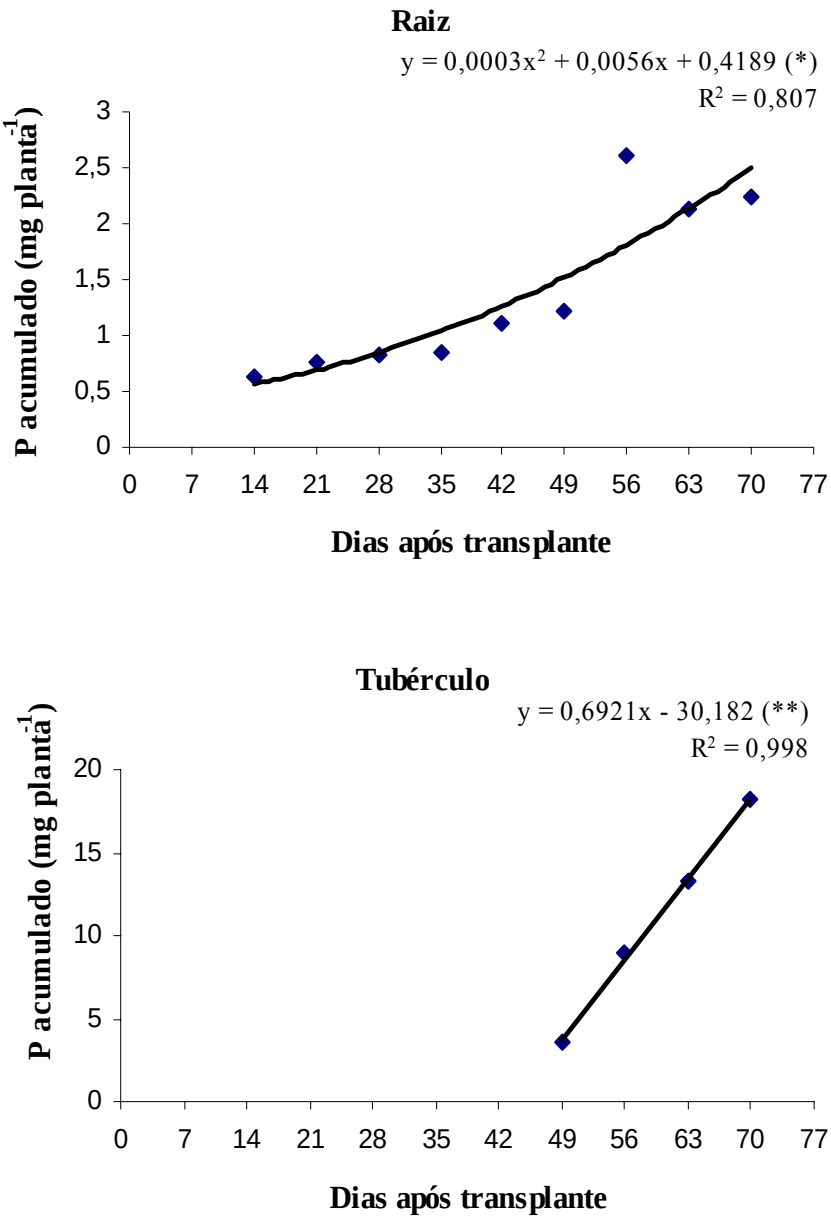


Figura 14 – Fósforo acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. . * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.2.3 Potássio

O acúmulo de potássio em folha e caule apresentou significância de ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente e ajustou-se ao modelo cúbico de regressão (Figura 15), enquanto para raiz e tubérculo a significância foi observada ($P \leq 0,01$) e ($P \leq 0,05$), respectivamente, porém foi ajustada ao modelo linear de regressão (Figura 16). Em folha o maior acúmulo de potássio ocorreu aos 64 DAT com 236,12 mg planta^{-1}e representou 29,32% do total acumulado. Em caule o máximo acúmulo, 259,48 mg planta^{-1}, ocorreu aos 67 DAT. Estes valores somados, correspondentes à PA, foram inferiores aos 645,43 mg planta^{-1} detectados por Favoretto (2005). Reis Junior (1995), estudando os efeitos da adubação potássica em batata, verificou que 74,1 a 89,1 g Kg^{-1} de K na matéria seca de folíolos são suficientes para garantir 99 – 100% da produção, mas Lorenzi et al (1996) consideraram a faixa de concentrações foliares entre 40 a 65 mg planta^{-1} como adequadas. Neste experimento os valores em folha e caule corresponderam a 57,87 e 65,03 mg planta^{-1}, respectivamente. A absorção de potássio pela PA da batata aumentou com o desenvolvimento da planta, atingindo a maior absorção durante o período de maior crescimento vegetativo. De modo geral, os acúmulos da maioria dos nutrientes em função do tempo, incluindo o potássio, mostraram no comportamento uma curva do tipo sigmóide, diferindo apenas para as quantidades acumuladas. Isto concorda com o indicado por Macedo, Haag e Gallo (1981).

Em raiz o maior valor de potássio acumulado ocorreu aos 70 DAT e foi de 40,78 mg planta^{-1}, superior aos 9,47 e 17,32 mg planta^{-1} referidos por Yorinori (2003). O maior valor obtido nos tubérculos foi de 268,89 mg planta^{-1} e aconteceu ao final do ciclo, representando 33,39% do total acumulado. A taxa de acúmulo em raiz apresentou valores de 0,70 mg planta^{-1} dia^{-1} e nos tubérculos, de 9,88 mg planta^{-1} dia^{-1}.

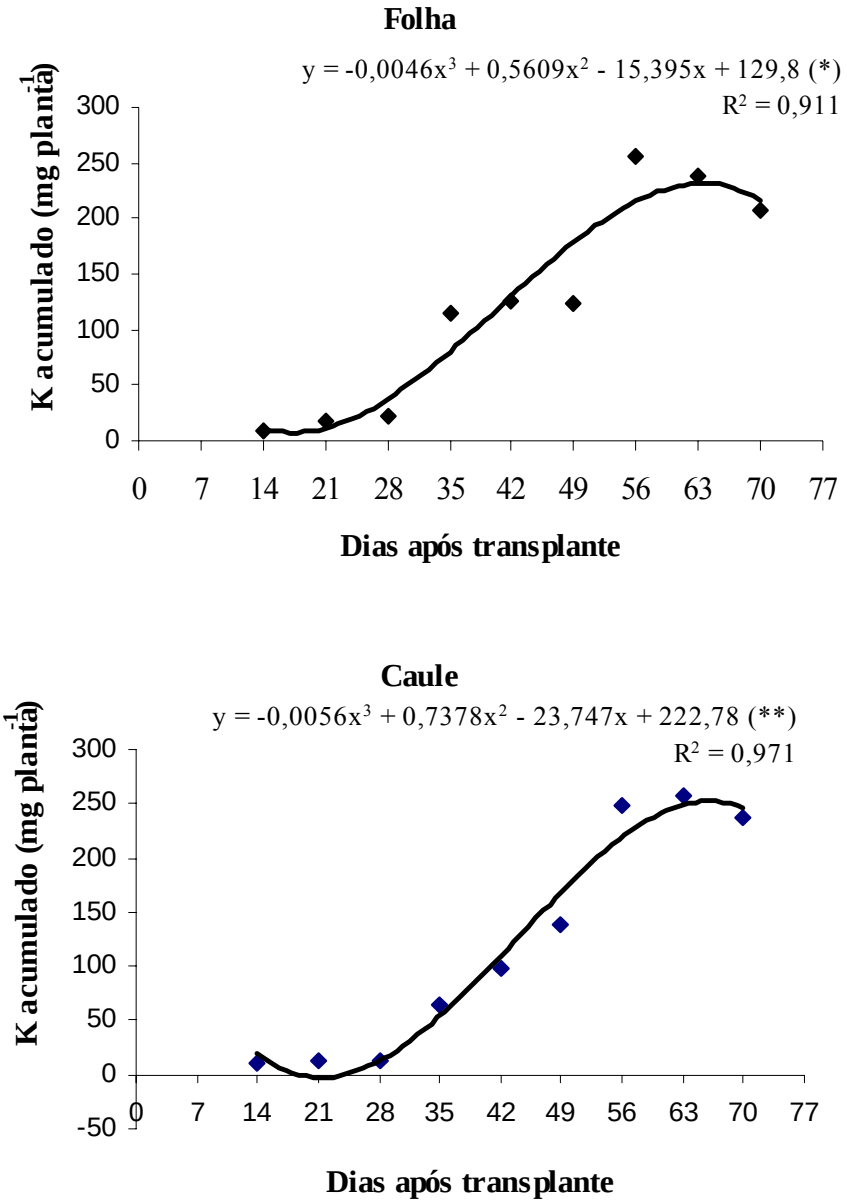


Figura 15 – Potássio acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

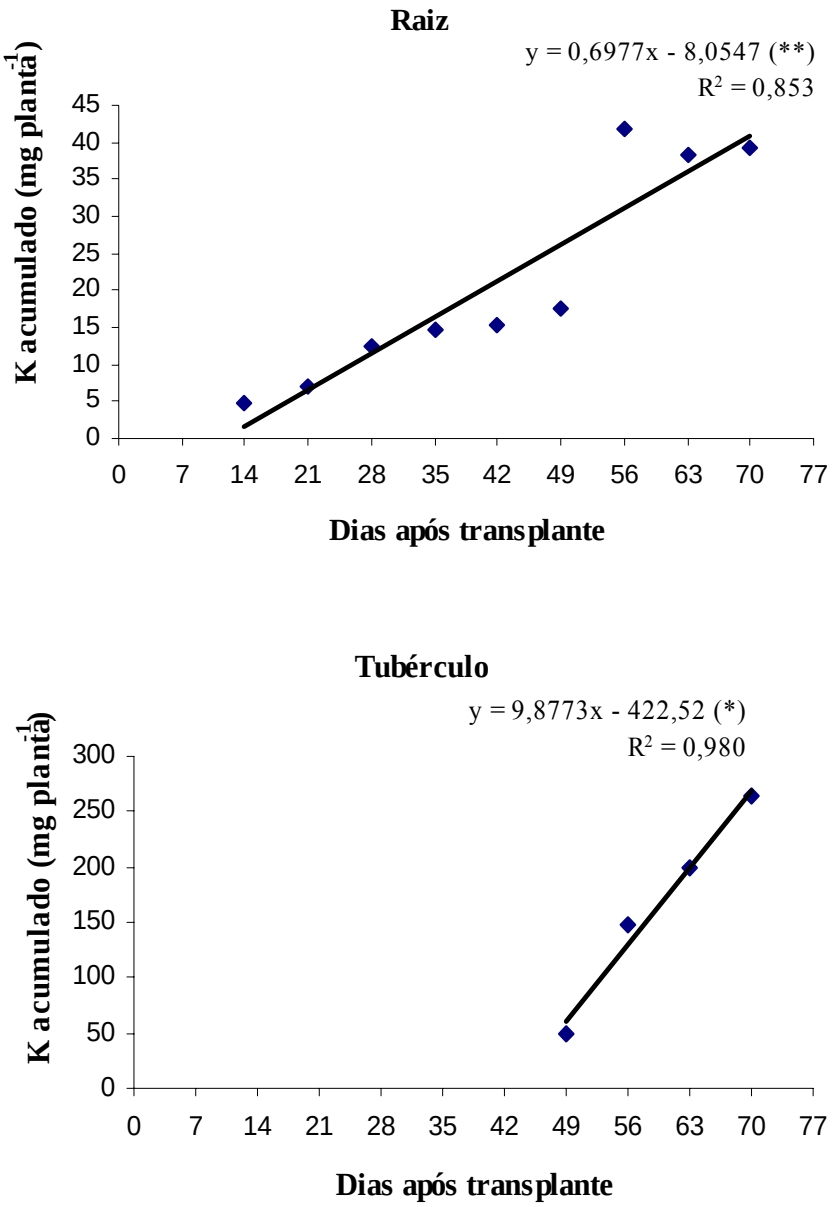


Figura 16 – Potássio acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.2.4 Cálcio

O acúmulo de cálcio em folha apresentou significância de ($P \leq 0,01$), em caule de ($P \leq 0,05$), e o ajuste foi ao modelo cúbico de regressão (Figura 17). Para raiz e tubérculo os acúmulos de cálcio apresentaram significância ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente, ajustando-se aos modelos quadrático e linear de regressão (Figura 18). O maior valor de cálcio acumulado em folhas ocorreu aos 70 DAT com 105,52 mg planta^{-1}, correspondendo a 59,46% do total acumulado na planta. Entretanto, o ponto de máximo do cálcio acumulado não foi verificado no período de tempo avaliado. Em caule foi possível registrar o máximo de cálcio acumulado no intervalo estudado, ocorrendo aos 70 DAT quando atingiu 61,27 mg planta^{-1}, representando 34,53% do acumulado na planta. A PA foi responsável, portanto, pelo 93,99% do acúmulo total de cálcio, valores semelhantes aos mencionados por Magalhães (1985), ao contrario do potássio, fósforo e nitrogênio, que tiveram maior acúmulo nos tubérculos. Favoretto (2005) obteve 186 mg planta^{-1} em PA aos 53 DAT. Percebeu-se que o cálcio, por ter baixa mobilidade e redistribuição, a quase totalidade deste nutriente se manteve na folhagem. Isto concorda com os resultados relatados por Kratzke; Palta (1986), que avaliando o acúmulo de cálcio nos tubérculos concluíram que não houve aumento com o acréscimo de doses de cálcio nas raízes basais e sugeriram que a absorção do cálcio presente nos tubérculos ocorreu dos estolões e dos pêlos absorventes nos próprios tubérculos.

O maior valor de cálcio acumulado em raiz ocorreu aos 70 DAT, sendo de 8,97 mg planta^{-1}, valores similares aos 6,02 mg planta^{-1} de Favoretto (2005). O maior valor obtido nos tubérculos foi de 1,69 mg planta^{-1} que aconteceu ao final do ciclo e representou 0,95% do total acumulado pela planta. A taxa de acúmulo em tubérculo apresentou valores de 0,07 mg planta^{-1} dia^{-1}. O cálcio mostrou um padrão de redistribuição a favor da folha, que de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) é devido à maior parte de sua distribuição ser via xilema e favorecido pela corrente respiratória.

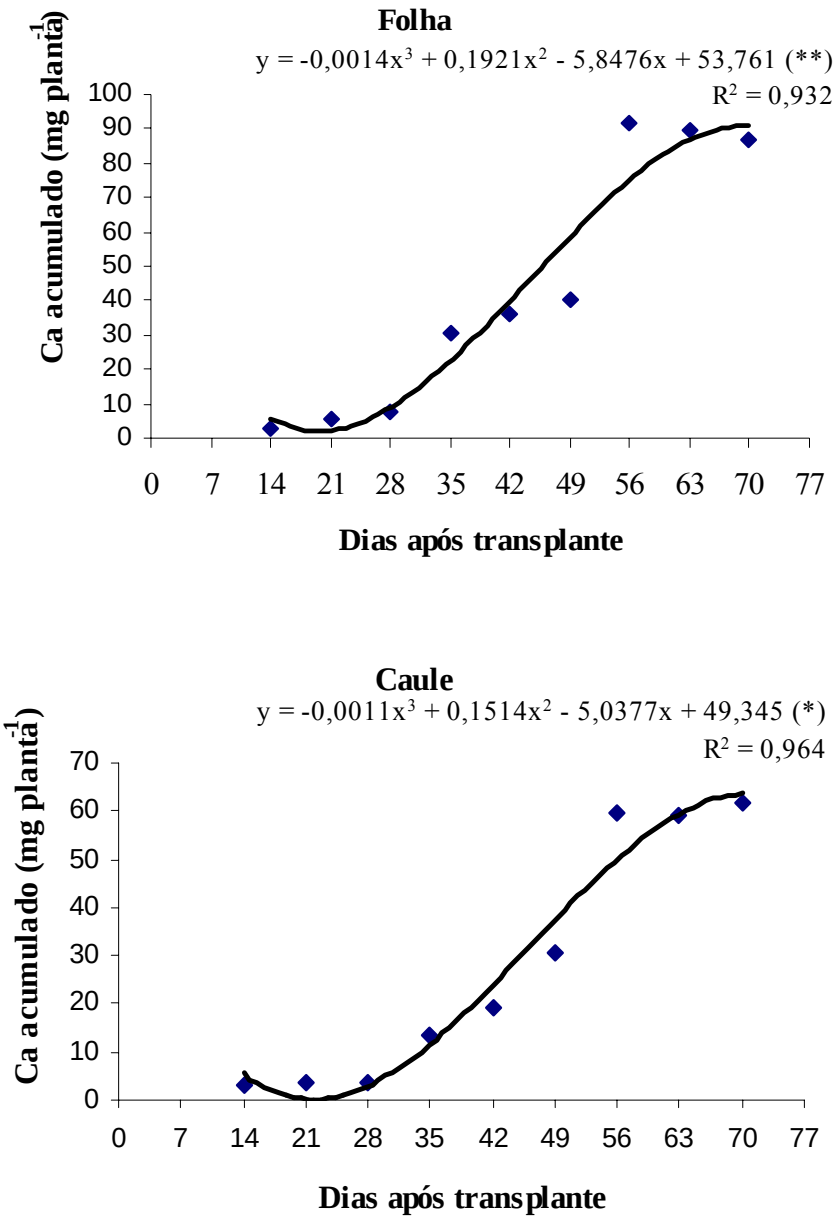


Figura 17 – Cálcio acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. . * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

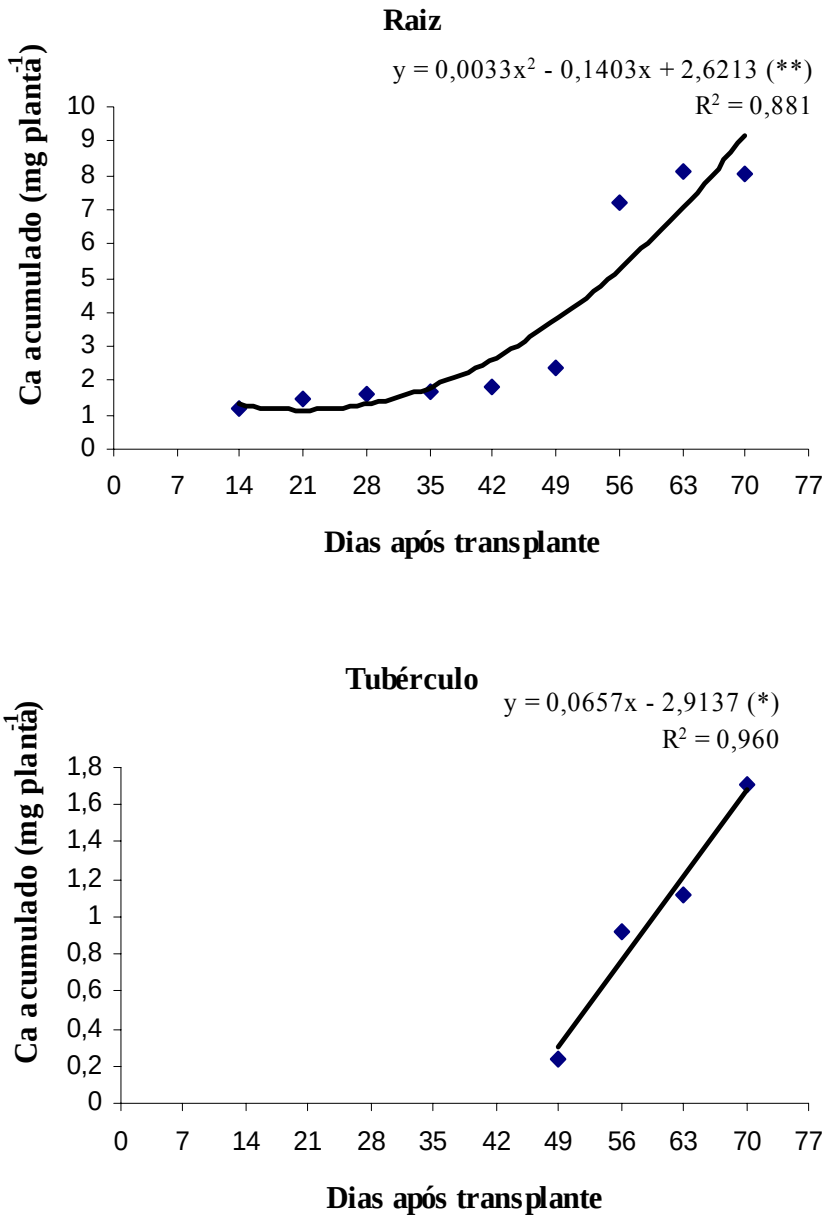


Figura 18 – Cálcio acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. . * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.2.5 Magnésio

Os acúmulos de magnésio foram significativos em folha e caule ($P \leq 0,01$) e ajustaram-se a modelos cúbico e quadrático de regressão (Figura 19). Em folha, o ponto de máximo acúmulo ocorreu aos 58 DAT quando atingiu o valor de 11,71 mg planta^{-1}. Em caule o maior valor obtido registrou-se aos 70 DAT com valor de 36,37 mg planta^{-1}. O acúmulo em estes dois órgãos representou 21,65% e 67,24% do total acumulado na planta, respectivamente. Favoretto (2005) obteve em PA aos 53 DAT 66,26 mg planta^{-1}, enquanto em campo Yorinori (2003) havia constatado o acúmulo de magnésio variando de 117,34 a 236,62 mg planta^{-1} (YORINORI, 2003).

Na Figura 20 apresenta-se o acúmulo de magnésio em raiz e tubérculo. A análise de variância em raiz mostrou significância ($P \leq 0,01$), ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, enquanto para tubérculo o ajuste foi no modelo linear ($P \leq 0,05$). Em raiz o maior valor obtido de acúmulo de magnésio foi de 2,00 mg planta^{-1} e ocorreu aos 70 DAT, coincidindo com os 1,13 e 1,33 mg planta^{-1} registrados em campo (YORINORI, 2003). Nos tubérculos ao final do ciclo observou-se o maior valor de acúmulo de 4,01 mg planta^{-1}, que representava 7,41% do total acumulado na planta. Diariamente houve um acúmulo de magnésio nos tubérculos da ordem de 0,137 mg planta^{-1}.

O magnésio, em quantidades (mg planta^{-1}) menores que o cálcio, acumula-se preferencialmente na parte aérea (folha = 21,65%, caule = 67,24%, raiz = 3,70 e tubérculo = 7,41%); fato semelhante foi verificado em outras hortaliças como em beterraba, quando o maior acúmulo foi na parte aérea em relação aos frutos (GRANGEIRO et al., 2007), em melancia (GRANGEIRO; CECÍLIO FILHO, 2004, 2005), em batata (YORINORI, 2003) e tomate (FAYAD, 1998). Uma das prováveis causa, para essa maior acumulação do Mg na parte aérea é que o mesmo faz parte da molécula de clorofila. De acordo com Marschner (1995), dependendo do "status" de Mg na planta, entre 6 a 25% do magnésio total está ligado à molécula de clorofila, outros 5 a 10% estão firmemente ligados a pectatos, na parede celular, ou como sal solúvel, no vacúolo.

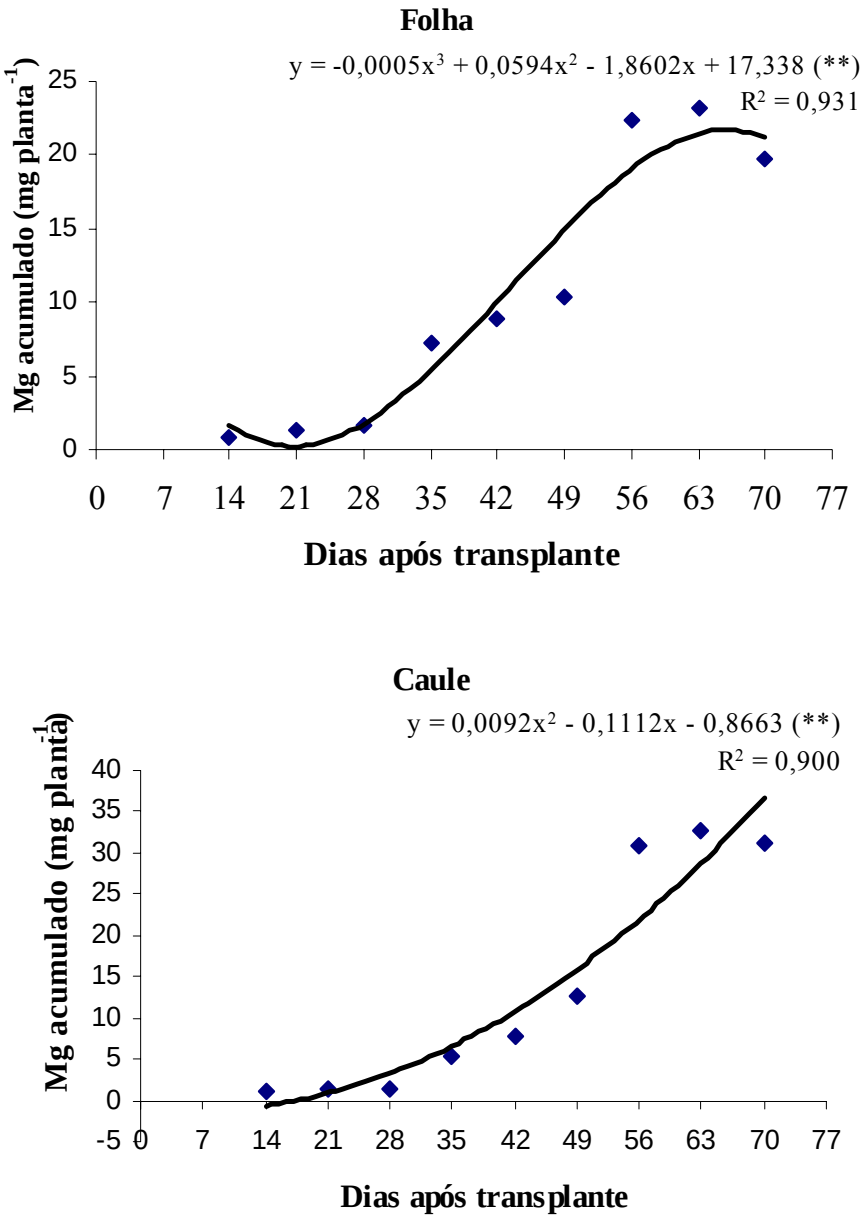


Figura 19 – Magnésio acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. **Significativo a 1% de probabilidade

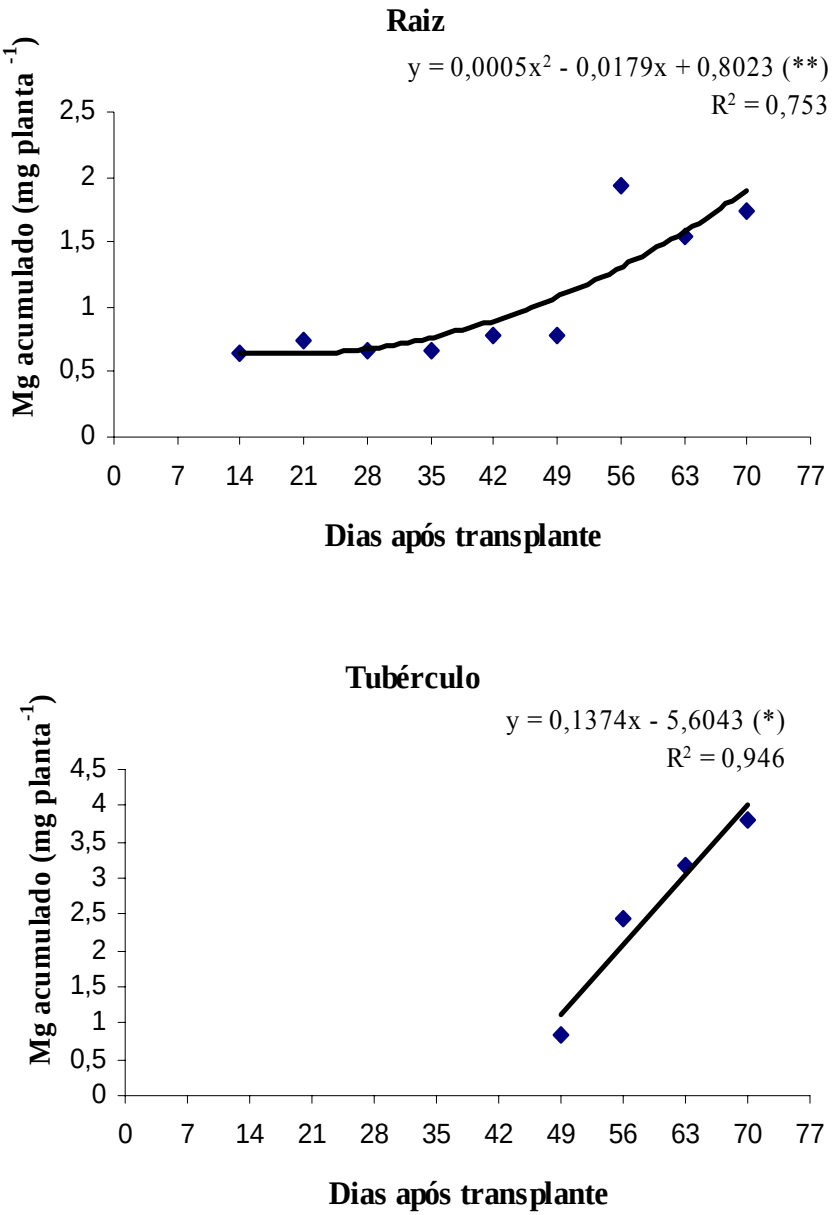


Figura 20 – Magnésio acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. **Significativo a 1% de probabilidade

2.3.2.2.6 Enxofre

O acúmulo de enxofre em folha e caule apresentou significância de ($P \leq 0,01$) e ajustou-se aos modelos quadrático e cúbico de regressão, respectivamente (Figura 21), enquanto para raiz e tubérculo a significância foi observada ($P \leq 0,01$) e ($P \leq 0,05$), respectivamente, porém foi ajustada aos modelos quadrático e linear de regressão (Figura 22). Em folha o maior acúmulo de enxofre ocorreu aos 70 DAT com 342,82 mg planta^{-1}, valores bem superiores aos mencionados por Favoretto (2005), de 22,37 mg planta^{-1} PA, que percentualmente representou 94,44% do total acumulado. Em campo, para 'Atlantic' e outros cultivares os acúmulos em folha também resultaram consideravelmente menores (PAULA; FONTES; NOGUEIRA, 1986; YORINORI, 2003). Em caule o ponto de máximo acúmulo, 9,93 mg planta^{-1}, ocorreu aos 69 DAT. Sintomas visuais de anomalias na folhagem que indicassem toxidez ou algum desbalanço nutricional não foram observados ao longo do período de crescimento e avaliação das plantas.

Em raiz o maior valor de enxofre acumulado ocorreu aos 70 DAT e foi de 2,64 mg planta^{-1}. Yorinori (2003) obteve 1,72 mg planta^{-1}. O maior valor obtido nos tubérculos foi de 7,60 mg planta^{-1}, que aconteceu ao final do ciclo. A taxa de acúmulo de enxofre em tubérculo foi de 0,29 mg planta^{-1} dia^{-1}.

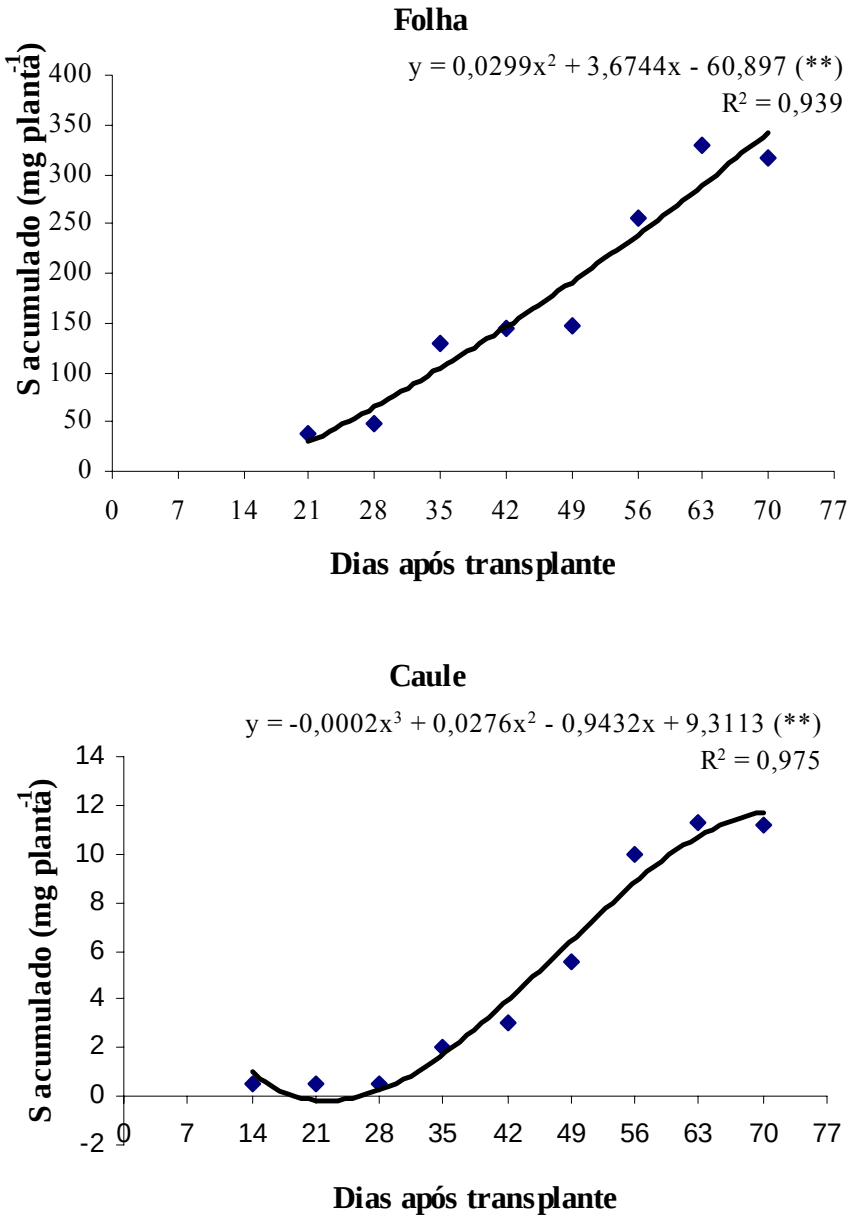


Figura 21 – Enxofre acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. **Significativo a 1% de probabilidade

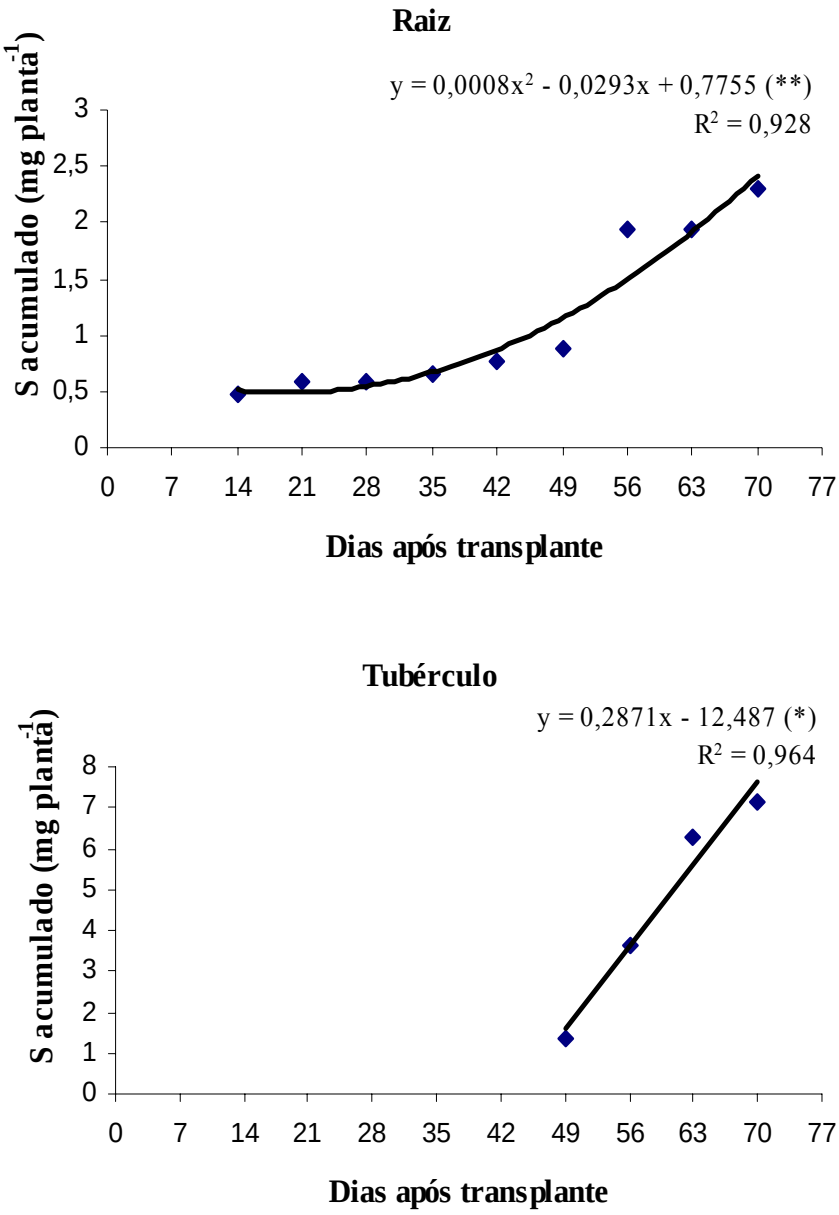


Figura 22 – Enxofre acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. **Significativo a 1% de probabilidade

2.3.2.3 Acúmulo de micronutrientes

2.3.2.3.1 Boro

A análise de variância mostrou significância para o acúmulo de boro em folha ($P \leq 0,05$) e caule ($P \leq 0,01$), ajustando-se aos modelos quadrático e cúbico de regressão, respectivamente (Figura 23). O maior valor obtido do boro acumulado nas folhas aconteceu aos 70 DAT e foi de 346,11 μg planta^{-1} e no caule, aos 67 DAT, com 142,32 μg planta^{-1}. Valores superiores foram obtidos por Favoretto (2005), 778,70 μg planta^{-1}. Em campo, onde ocorre uma condição diferente à observada na produção em casa-de-vegetação usando substratos, Yorinori (2003) obteve os valores em caules e folhas na faixa de 298,78 a 423,87 mg planta^{-1} e 642,24 a 644,65 mg planta^{-1}, respectivamente. Entretanto, a tendência de maior acúmulo nas folhas se manteve. O acumulado na PA representou 86,15% do total acumulado na planta. Percebeu-se que houve um padrão de acúmulo alto na PA, principalmente na folhagem (61,05%), que permite corroborar a limitada mobilidade do nutriente na planta, segundo Mesquita (2004) ocorre preferencialmente via xilema, fazendo com que o suprimento seja feito de maneira contínua no ciclo e fornecido via sistema radicular.

Em raízes e tubérculos os acúmulos de boro foram significativos ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$) e ajustaram-se a modelos quadrático e linear de regressão, respectivamente (Figura 24). Em raiz verificou-se aos 70 DAT um acúmulo de 36,98 μg planta^{-1}. Em tubérculo o valor máximo alcançado foi de 41,51 μg planta^{-1} ao final do ciclo, e foi superior aos 25,48 mg planta^{-1} reportados em estufa por Favoretto (2005). Em relação ao acúmulo total na planta o tubérculo representou 7,32%. A taxa de acúmulo em tubérculos registrou valores de 1,25 μg planta^{-1} dia^{-1}, maior que 0,87 μg planta^{-1} dia^{-1} reportado por Favoretto (2005). Na produção de batata-semente cabe destacar a importância da disponibilidade do boro e do cálcio na formação dos tubérculos. Uma função claramente definida do B nas plantas está relacionada com a estabilização da parede celular. Entretanto, existe um crescente aumento nas evidencias de que o B exerça papel na manutenção e integridade das membranas e que possa ter funções no citoplasma (GASSERT et al., 2002).

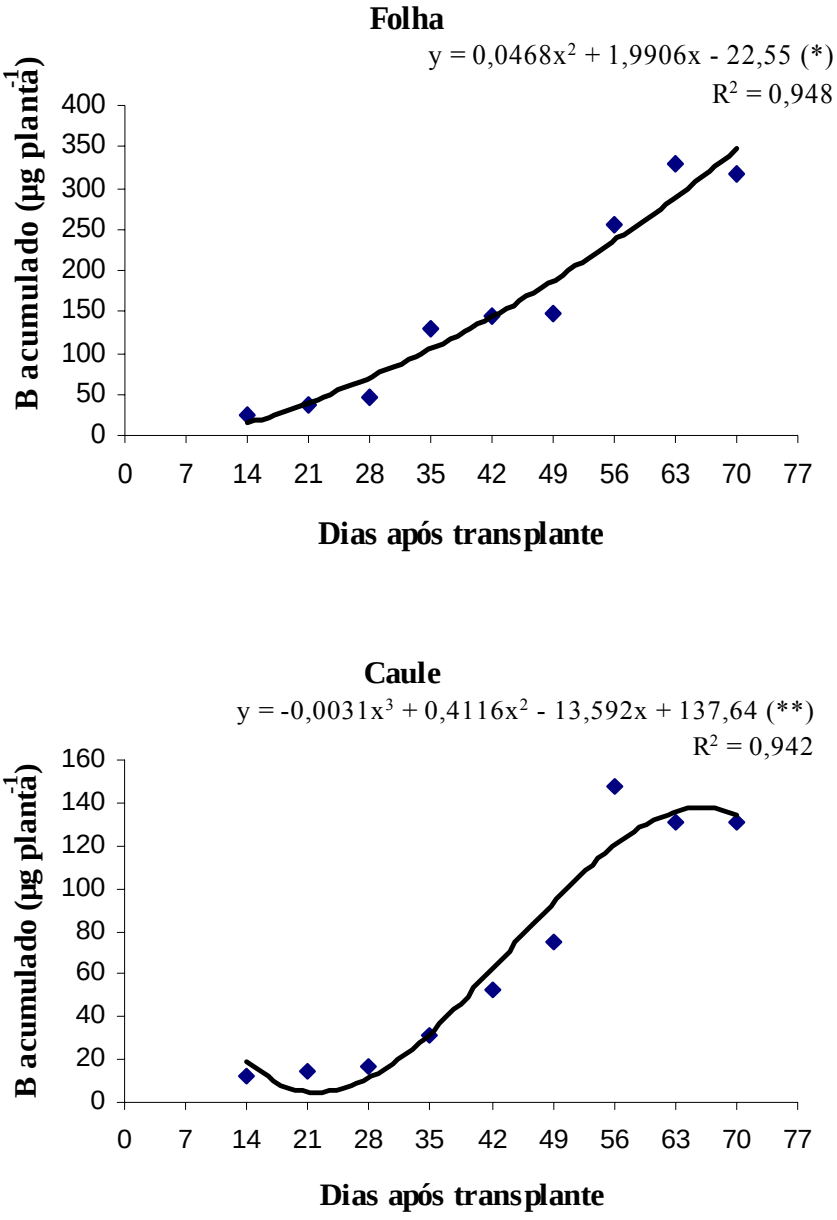


Figura 23 – Boro acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

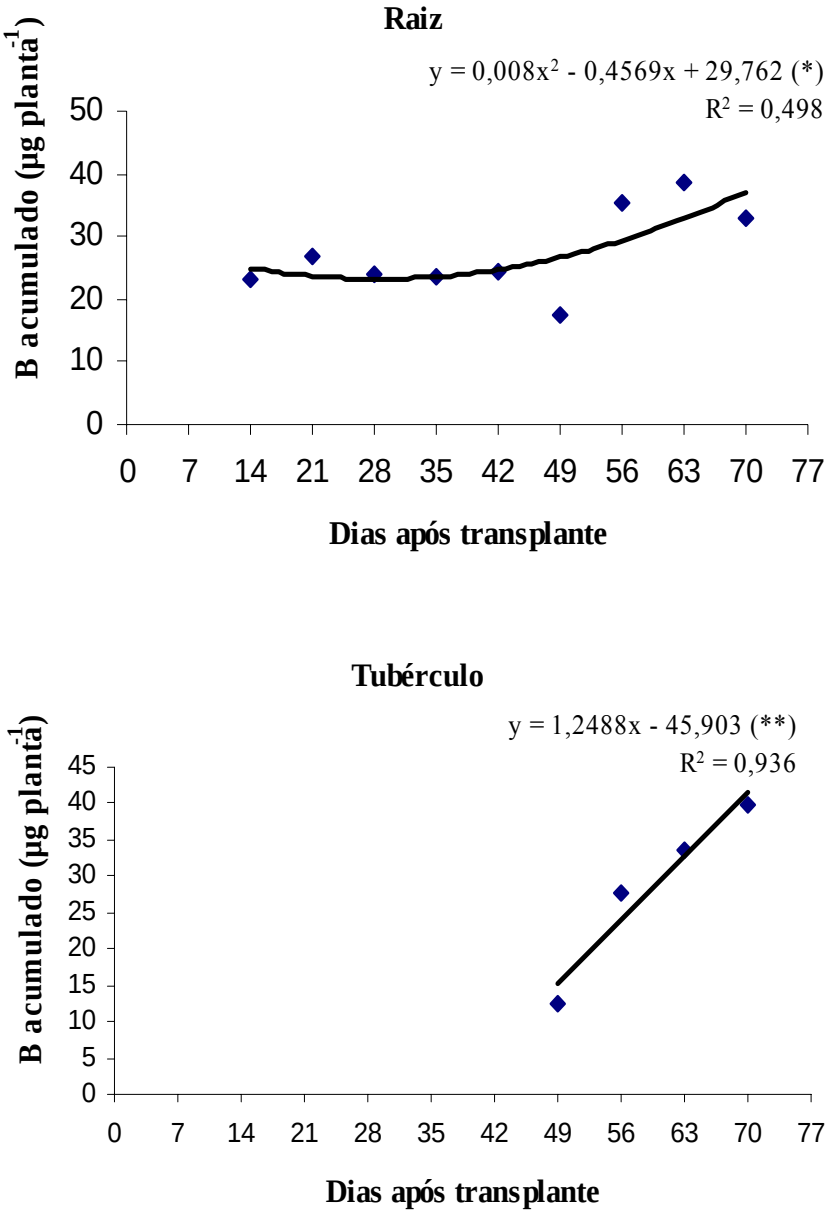


Figura 24 – Boro acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.3.2 Cobre

O acúmulo de cobre em folha apresentou significância de ($P \leq 0,05$), em caule de ($P \leq 0,01$), e o ajuste foi ao modelo quadrático de regressão (Figura 25). Para raiz e tubérculo os acúmulos de cobre apresentaram significância ($P \leq 0,01$) e ($P \leq 0,05$), respectivamente, ajustando-se aos modelos quadrático e linear de regressão (Figura 26). Em folha o maior valor obtido de cobre acumulado ocorreu aos 70 DAT, com 1348,13 μg planta^{-1}. Em caule o comportamento foi similar ao registrado em folha, o máximo de cobre acumulado no intervalo estudado ocorrendo aos 70 DAT quando atingiu 48,76 μg planta^{-1}. Em campo Yorinori (2003) obteve na safra das águas, acúmulos da ordem de 69,68 μg planta^{-1} e 288,65 μg planta^{-1} em caule e folhas, respectivamente. Na safra da seca, os acúmulos foram 80,94 μg planta^{-1} e 245,52 μg planta^{-1}, respectivamente.

Em raiz o maior valor de cobre acumulado, 49,54 μg planta^{-1}, ocorreu aos 70 DAT. O maior valor obtido nos tubérculos foi de 69,69 μg planta^{-1}, no final do ciclo, que representou 4,60% do total acumulado na planta. Paula, Fontes e Nogueira (1986) observaram no cv 'Mantiqueira' acúmulo de cobre no tubérculo no final do ciclo correspondente a 75% do total acumulado pela planta, indicando haver diferenças na absorção e acúmulo de nutrientes entre cultivares. A taxa de acúmulo de cobre em tubérculo apresentou valores de 2,63 μg planta^{-1} dia^{-1}.

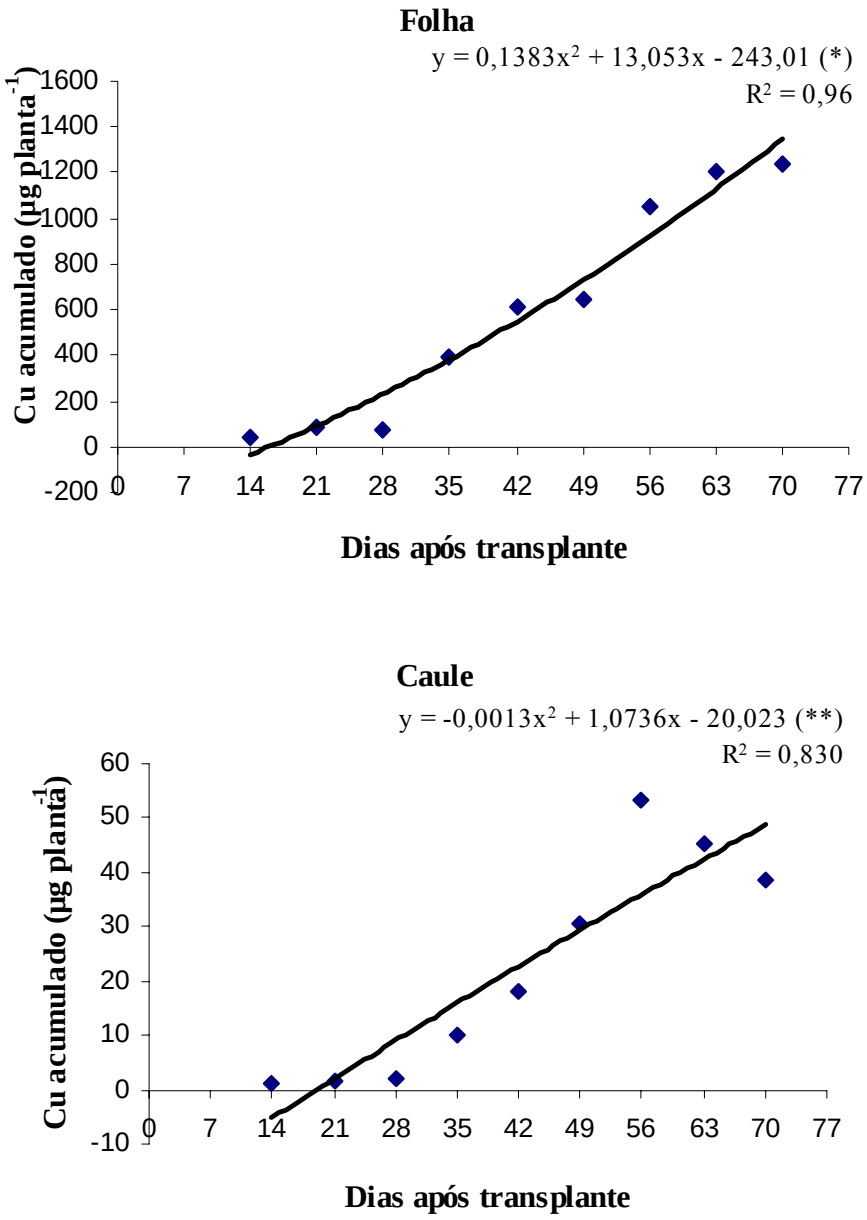


Figura 25 – Cobre acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

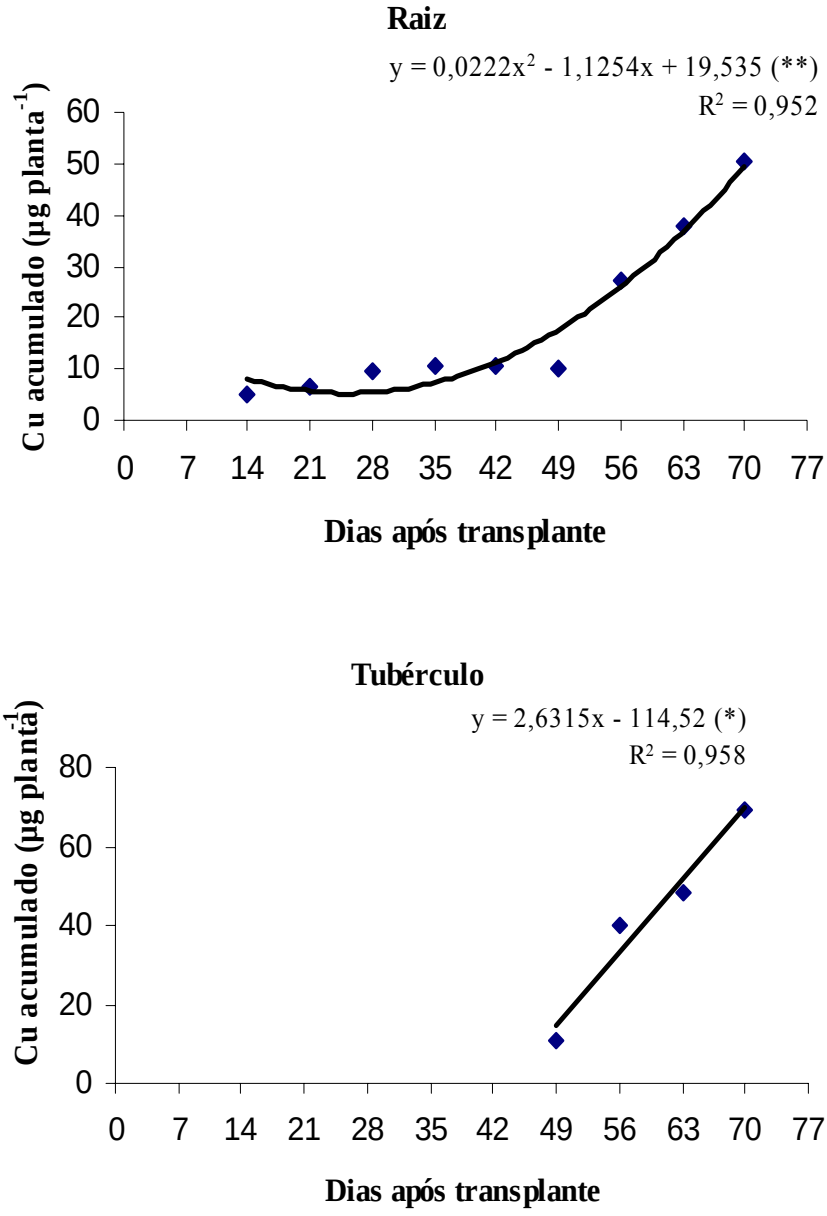


Figura 26 – Cobre acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.3.3 Ferro

Os acúmulos de ferro foram significativos em folha ($P \leq 0,05$) e caule ($P \leq 0,01$) e ajustaram-se a modelos cúbicos de regressão (Figura 27). Em folha, o ponto de máximo acúmulo de ferro ocorreu aos 68 DAT quando atingiu o valor de 1249,07 μg planta^{-1}. Em caule o maior valor obtido de ferro acumulado registrou-se aos 70 DAT com valor de 320,07 μg planta^{-1}. Valores similares em PA (1330,20 μg planta^{-1}) foram registrados por Favoretto (2005). O acúmulo de ferro nas folhas e caules correspondeu a 56,60% e 14,50% do total acumulado pela planta. Em campo, Yorinori (2003) observou acúmulos entre 9143,12 a 15565,72 μg planta^{-1} em folha e 3613,55 a 4007,46 μg planta^{-1} em caule. Valores bem superiores aos observados no presente trabalho.

Na Figura 28 apresenta-se o acúmulo de ferro em raiz e tubérculo. A análise de variância em raiz mostrou significância ($P \leq 0,01$), ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, enquanto para tubérculo o ajuste foi no modelo linear ($P \leq 0,05$). Em raiz o maior valor obtido de acúmulo de ferro foi de 454,43 μg planta^{-1} e ocorreu aos 70 DAT. Em experimento conduzido em campo os valores variaram de 1003,32 a 1301,02 μg planta^{-1}(YORINORI, 2003).

Nos tubérculos ao final do ciclo observou-se o maior valor de acúmulo de 183,37 μg planta^{-1}, o que representou 8,31% do total acumulado. Diariamente houve um acúmulo de ferro nos tubérculos da ordem de 6,51 μg planta^{-1}.

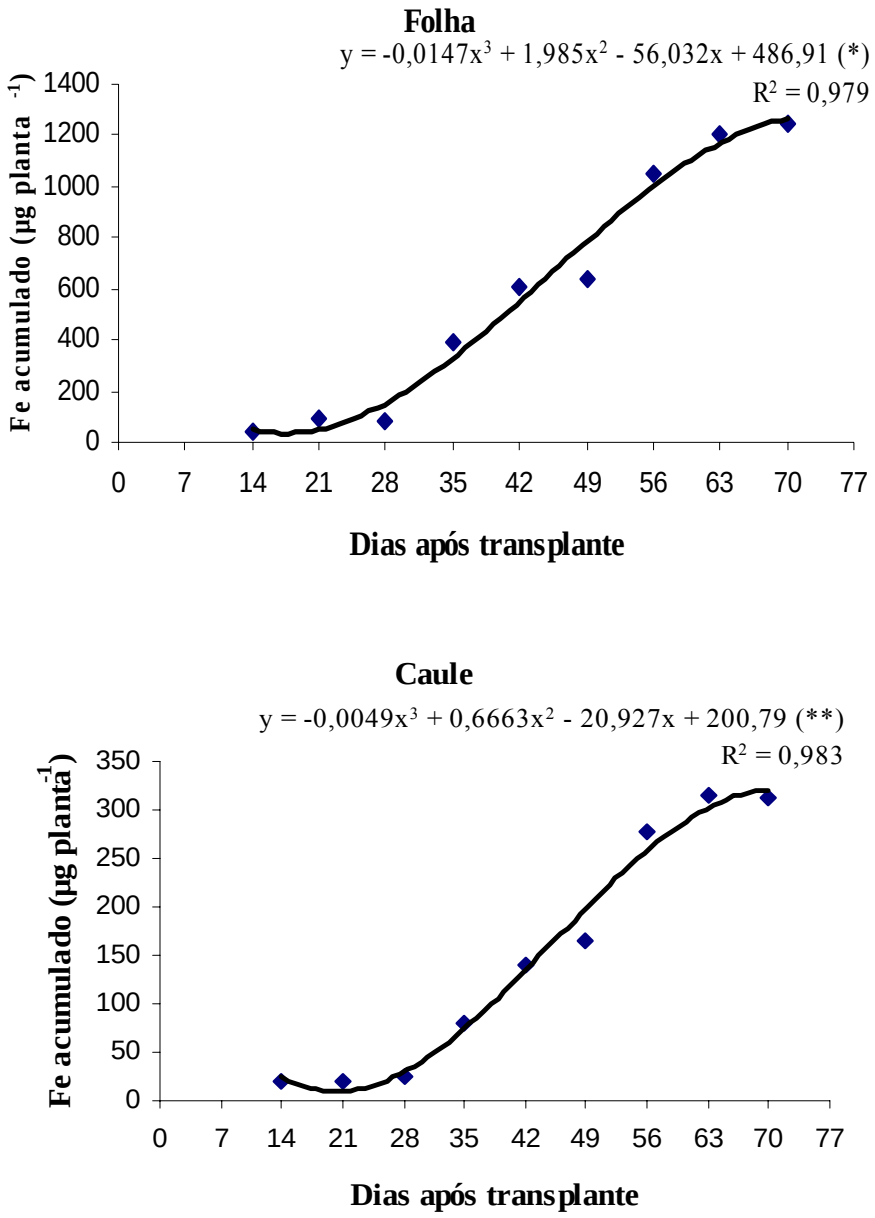


Figura 27 – Ferro acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

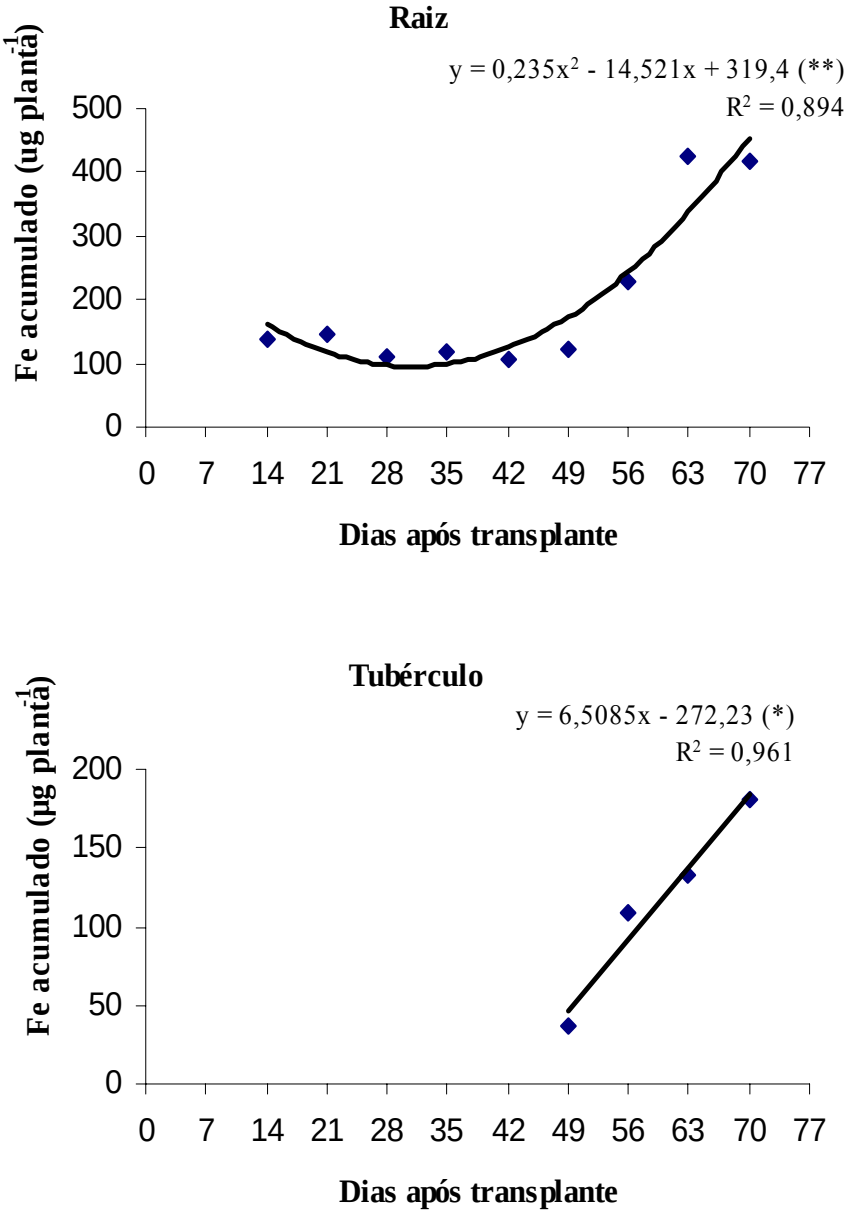


Figura 28 – Ferro acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.3.4 Manganês

O acúmulo de manganês em folha apresentou significância de ($P \leq 0,01$), em caule de ($P \leq 0,05$), e o ajuste foi ao modelo cúbico de regressão (Figura 29). Para raiz e tubérculo os acúmulos de manganês apresentaram significância, ajustando-se aos modelos quadrático ($P \leq 0,05$) e linear de regressão ($P \leq 0,01$), respectivamente (Figura 30). Em folha o ponto de máximo do manganês acumulado ocorreu aos 68 DAT com 769,32 μg planta^{-1}, correspondendo a 49,63% do total acumulado pela planta. Em caule o comportamento da curva foi similar ao registrado em folha, o máximo de manganês acumulado ocorrendo aos 70 DAT, quando atingiu 669,08 μg planta^{-1}, representando 42,90% do acumulado pela planta. Em PA Favoretto (2005) mencionou 929,90 μg planta^{-1}aos 53 DAT.

Em raiz o maior valor de manganês acumulado ocorreu aos 70 DAT, com 78,11 μg planta^{-1}. O maior valor obtido nos tubérculos foi de 43,02 μg planta^{-1} (2,76% do total acumulado) e aconteceu ao final do ciclo. A taxa de acúmulo de manganês em tubérculo apresentou valores de 1,71μg planta^{-1} dia^{-1}.

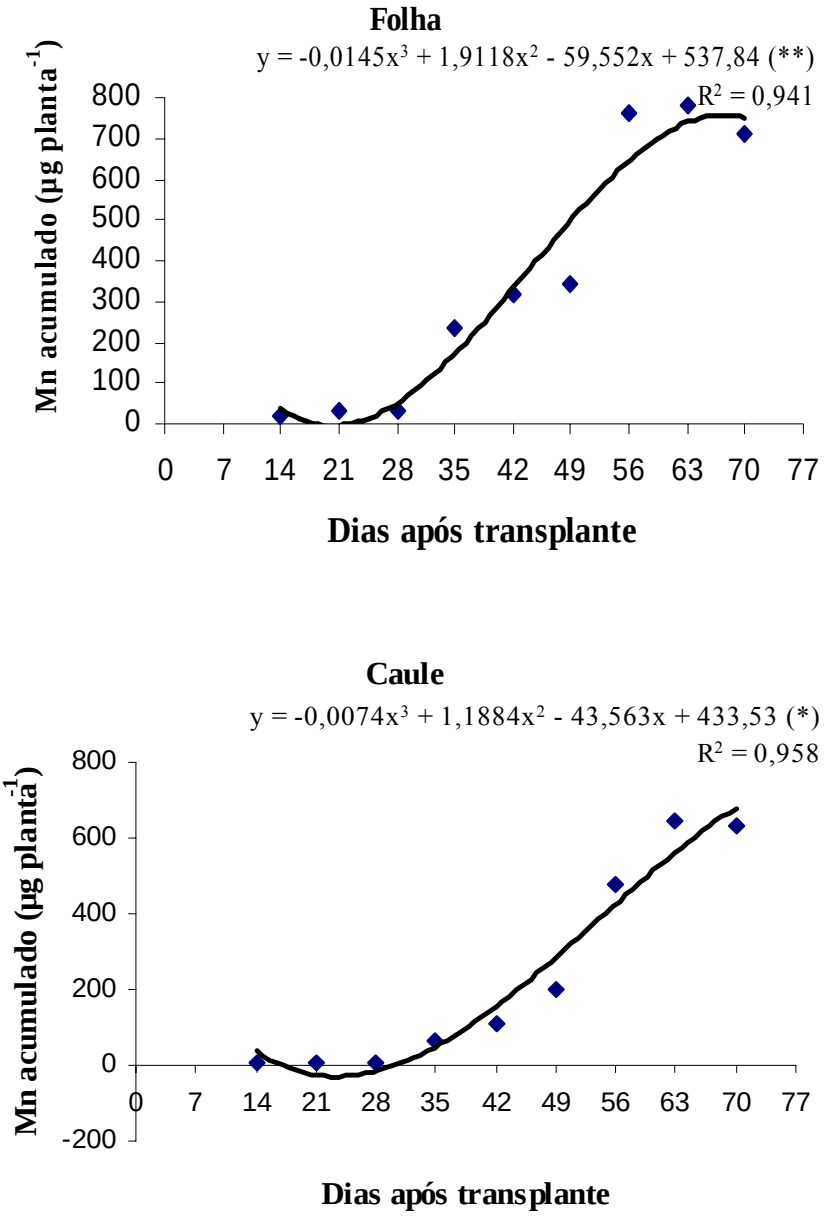


Figura 29 – Manganês acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

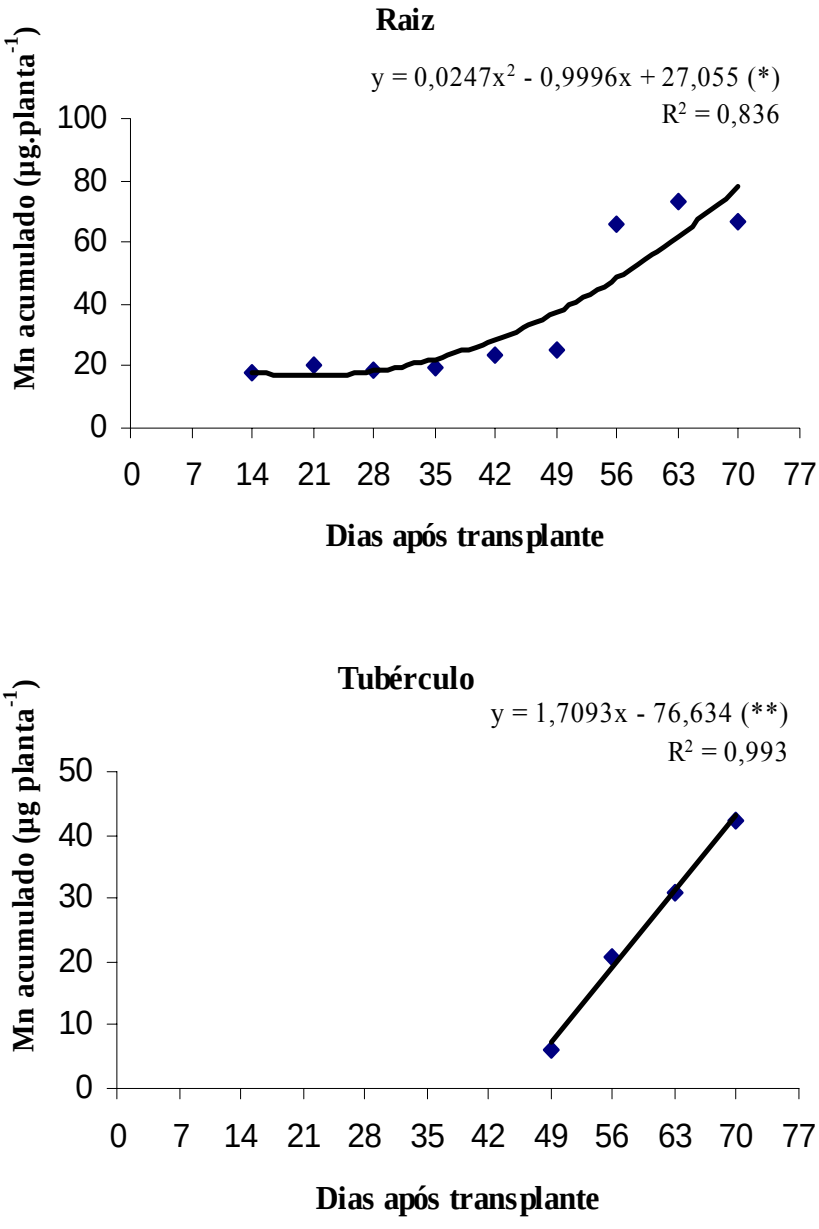


Figura 30 – Manganês acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.2.3.5 Zinco

A análise de variância mostrou significância para o acúmulo de zinco em folha ($P \leq 0,05$) e caule ($P \leq 0,01$), ajustando-se aos modelos linear e cúbico de regressão, respectivamente (Figura 31). O maior acumulado do zinco nas folhas, ocorreu aos 70 DAT, 173,86 μg planta^{-1} e no caule aos 62 DAT, quando atingiu 219,88 μg planta^{-1}. Percentualmente a PA correspondeu a 68,88% do total acumulado. Favoretto (2005) obteve em PA um acúmulo de 239,44 μg planta^{-1}. Entretanto, Yorinori (2003) detectou em folha 2459,41 a 5085,28 μg planta^{-1}nas safras da seca e nas águas, respectivamente e em caule 527,07 e 760,87 μg planta^{-1}.

Em raiz e tubérculo os acúmulos de zinco foram significativos e ajustaram-se a modelos quadrático ($P \leq 0,05$) e linear ($P \leq 0,01$) de regressão, respectivamente (Figura 32). Em raiz verificou-se aos 70 DAT o maior acúmulo de zinco, 32,25 μg planta^{-1}. Em tubérculo o valor máximo alcançado foi de 145,64 μg planta^{-1} ao final do ciclo, superior aos 22,41 μg planta^{-1} reportados por Favoretto (2005) aos 53 DAT, o que sugere uma forte relação entre o acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos e o ciclo da cultura. O acúmulo em tubérculo representou 25,48% do total de zinco acumulado pela planta, o que representa o maior valor de micronutriente no tubérculo percentualmente ao total do micronutriente acumulado. A taxa de acúmulo em tubérculos registrou valores de 5,34 μg planta^{-1} dia^{-1}.

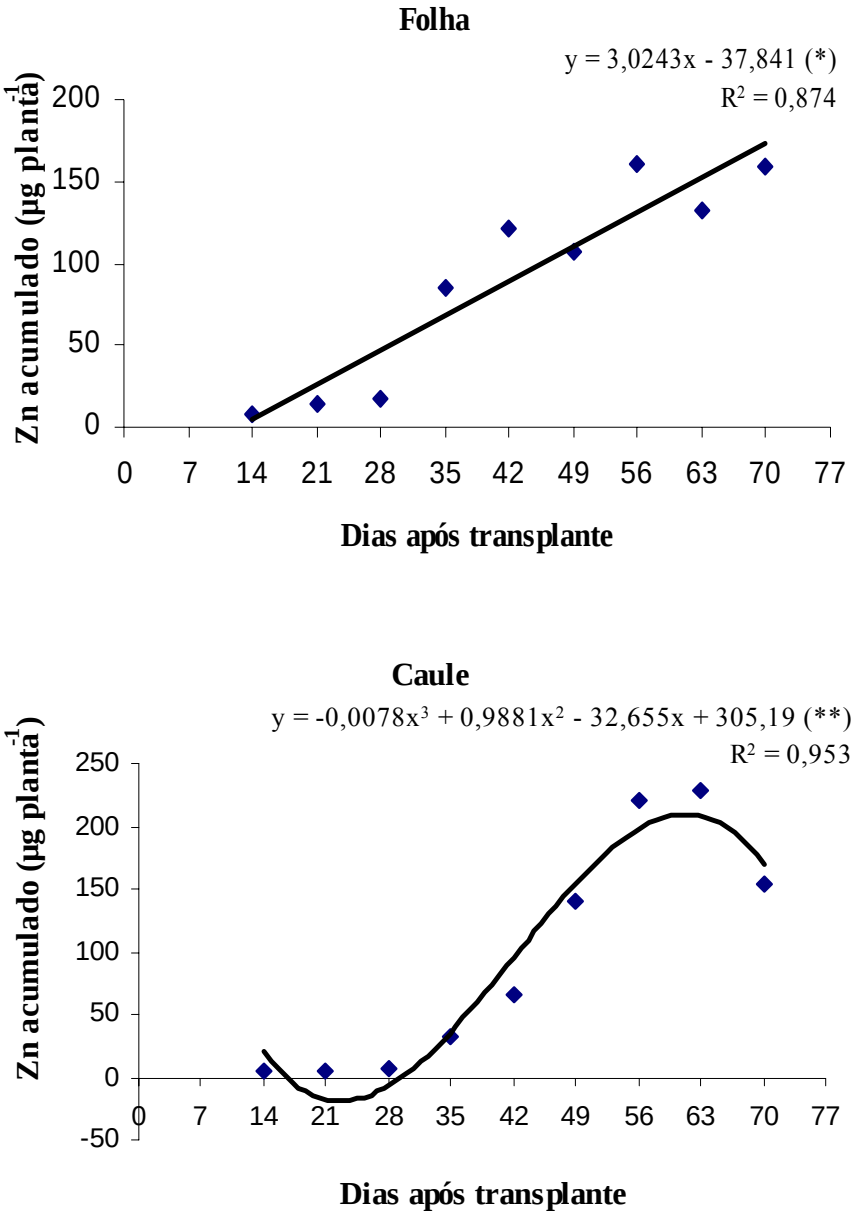


Figura 31 – Zinco acumulado em folha e caule de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

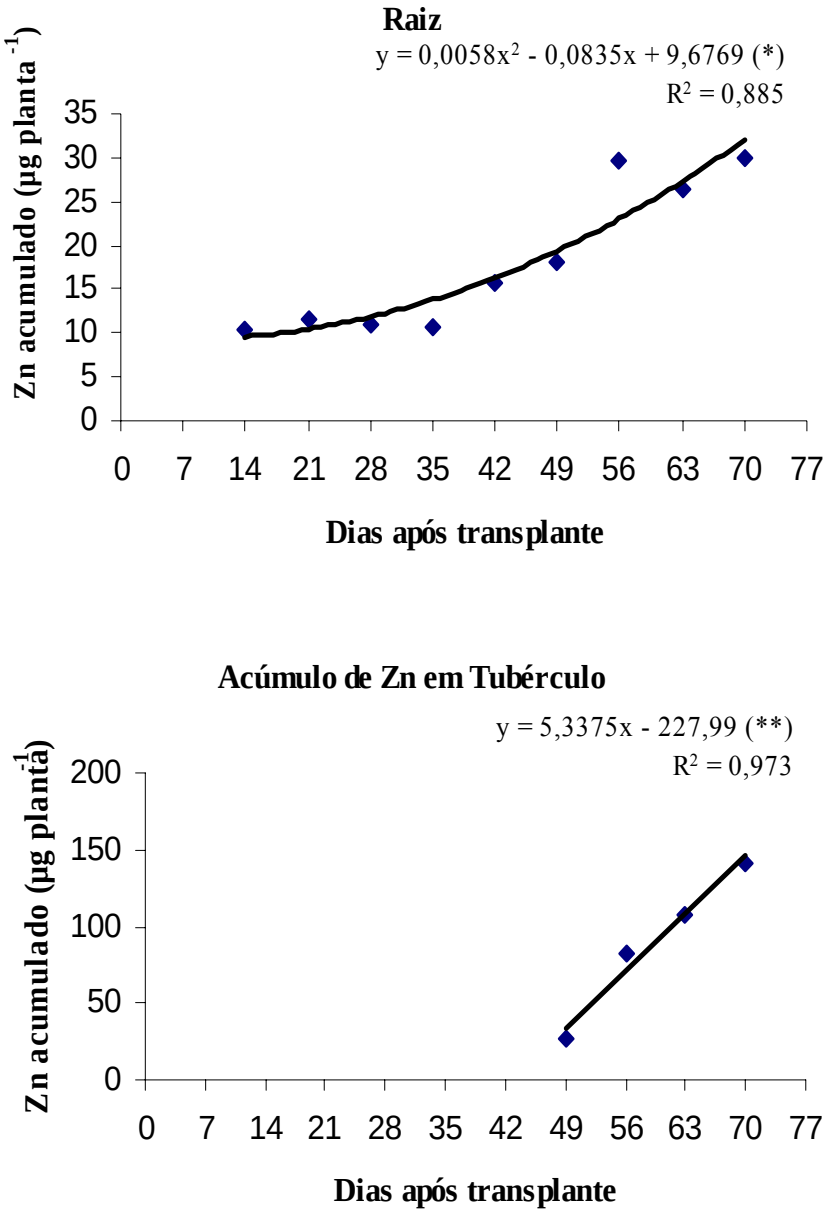


Figura 32 – Zinco acumulado em raiz e tubérculo de plantas de batata ao longo do ciclo, em função das épocas de coleta. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

2.3.3 Experimento 3 – Aproveitamento e absorção do N-amoniacal e N-nítrico na produção de batata-semente

A discussão desse experimento é apresentada em dois subitens, denominados "Aproveitamento pelas plantas do N aplicado em diferentes estádios" e "Absorção de N aplicado em diferentes estádios", com a finalidade de evidenciar que são diferentes e se complementam.

No primeiro caso os dados referem-se ao nitrogênio (forma amoniacal ou nítrico) aplicado a determinados estádios de desenvolvimento da planta que permaneceu até a colheita. Já no segundo caso, é determinado as formas de N que as plantas absorvem nos diferentes estádios no período de uma semana.

2.3.3.1 – Aproveitamento pelas plantas do N aplicado em diferentes estádios

Os dados de produção de matéria seca na planta inteira e partes avaliadas são apresentados na Tabela 7, e como esperado não se observaram diferenças significativas ($P \leq 0,05$) nas aplicações de $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$ já que a adubação nitrogenada quanto a forma e dose aplicada foram iguais em todos os vasos.

Tabela 7 – Matéria seca produzida da planta inteira, parte aérea, raízes e tubérculos das plantas de batata cultivada em solução nutritiva em função da época de aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$

Dias	Matéria seca							
	Planta inteira		Parte aérea		Raízes		Tubérculo	
	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$
	g planta^{-1}							
14*	12,85	13,22	5,98	5,90	0,37	0,29	6,50	7,03
28	13,73	13,14	5,45	5,36	0,33	0,33	7,95	7,45
42	12,34	14,09	5,74	6,07	0,31	0,26	6,29	7,76
56	13,75	12,90	5,71	5,64	0,37	0,30	7,66	6,96
70	12,78	13,28	5,06	5,81	0,34	0,33	7,38	7,14

Nota: *Dia da aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$

O aproveitamento total do N (%) na planta de batata em função da época de aplicação e da forma de N usada é mostrado na Figura 33. Efeitos significativos ($P \leq 0,05$) foram observados entre os tratamentos avaliados. Observou-se que na fase inicial do ciclo de crescimento da planta e no estágio de máximo desenvolvimento vegetativo ocorreu maior aproveitamento do N-amoniacal, atingindo no início valor superior a 16% e posteriormente 30,1% aos 56 DAT, concordando com o relatado por Warmcke e Barber (1973), que observaram na fase inicial de crescimento do milho, maior absorção do N-amoniacal.

Anderson, Teyker e Rayburn (1991) verificaram que o milho apresentou maior produção de matéria seca quando foi fornecido N exclusivamente na forma amoniacal. Heinrichs et al. (2006), ao estudar a forma preferencial de absorção de N, não verificaram diferenças significativas na absorção da forma nítrica e amoniacal por plantas de feijão, no arroz observaram maior aproveitamento do $N\text{-}NH_4^+$ independentemente das duas épocas em que forneceram o N (na semeadura e dez dias depois) e no milho esse efeito ocorreu somente quando o ^{15}N foi aplicado na semeadura.

A forma nítrica apresentou melhor eficiência aos 28 DAT e no final do ciclo. Na aplicação do N marcado aos 70 DAT a forma nítrica atingiu mais do dobro da amoniacal, sendo os valores encontrados de 8,6% para $N\text{-}NO_3^-$ e 3,3% para $N\text{-}NH_4^+$.

O aproveitamento máximo (24,9%) do $N\text{-}NO_3^-$ foi registrado aos 28 DAT. Não se observou tendência de maior absorção do $N\text{-}NH_4^+$ ou do $N\text{-}NO_3^-$ durante o ciclo de desenvolvimento das plantas. No entanto, existem evidências de que as plantas absorvem mais rapidamente o $N\text{-}NH_4^+$ que o do $N\text{-}NO_3^-$ no início do crescimento, e situação oposta ocorre à medida que as plantas crescem (BROWN et al., 1983; BROWN; RIGSBY; AKIN, 1983).

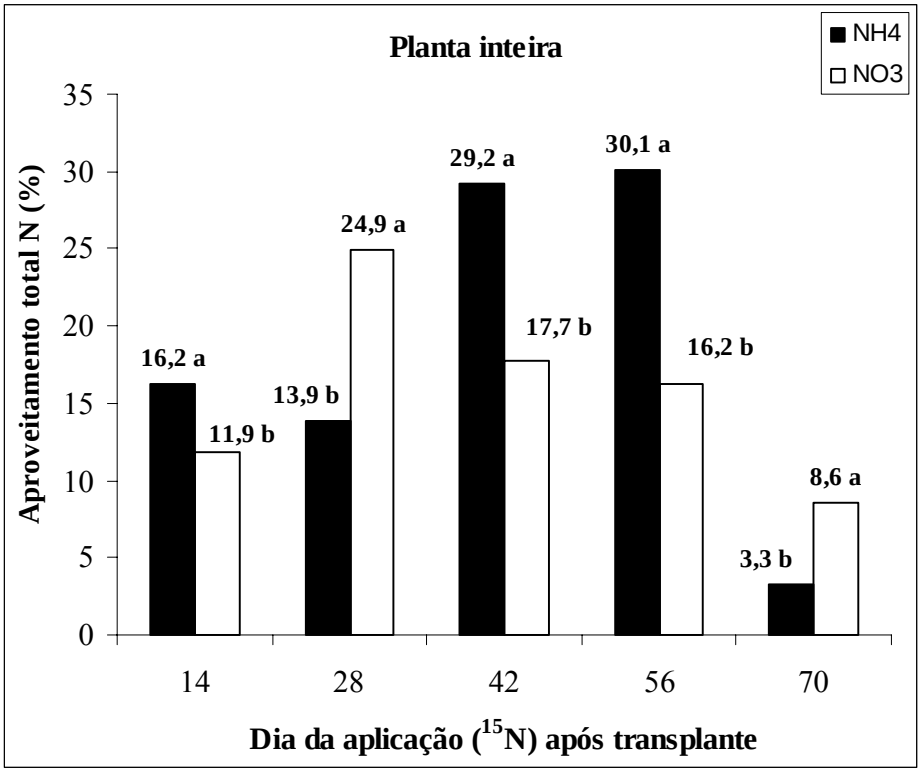


Figura 33 – Aproveitamento do N (%) em função do dia de aplicação do $^{15}NH_4NO_3$ ou $NH_4{}^{15}NO_3$, na planta inteira de batata colhida no final do ciclo. Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

Quanto ao aproveitamento do N na PA (Figura 34), pode-se observar que ocorreram diferenças significativas ($P \leq 0,05$) nas aplicações do N (nítrico e amoniacal) aos 28, 42, 56 e 70 DAT. De modo geral, a forma preferencial de absorção das formas de N durante o ciclo de desenvolvimento das plantas foi semelhante ao observado na planta inteira.

Quando se aplicou o NH_4NO_3 marcado aos 28 dias, o aproveitamento do N-NO_3^- foi de 9,5% e o do N-NH_4^+ de 5,4%. No estágio de máximo desenvolvimento vegetativo, aos 42 e 56 dias da aplicação, o aproveitamento da forma amoniacal foi superior à nítrica variando de 14,2% a 17,8%, enquanto a forma nítrica de 8,8% a 13,1%. Estes valores são similares aos reportados por Maidl, Brunner e Sticksel (2002), que em experimentos realizados em solo com batata cv 'Agria' usando nitrato de amônio marcado isotopicamente nas duas moléculas, obtiveram em dois estágios de crescimento da planta recuperação de N na PA da ordem de 8,3% a 14,2% e de

22,2% a 47%, em cada estágio. No final do ciclo de crescimento os mesmos autores reportaram aproveitamento total entre 6,1 e 8,4%, valores coincidentes foram obtidos no presente estudo.

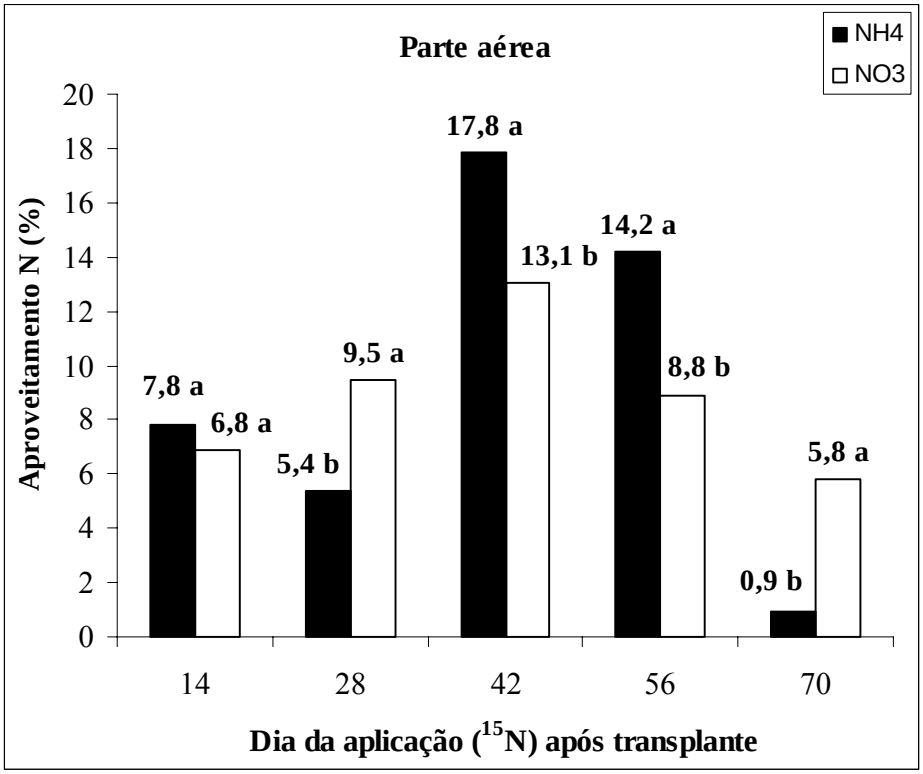


Figura 34 – Aproveitamento do N (%) em função do dia de aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$, na parte aérea da planta de batata colhida no final do ciclo. Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

Ocorreram diferenças significativas ($P \leq 0,05$) no aproveitamento do N pelas raízes proveniente das aplicações desse nutriente nas formas nítrica e amoniacal da primeira até a quarta aplicação do ^{15}N (Figura 35).

O aproveitamento do $N\text{-}NH_4^+$ na raiz superou ao do $N\text{-}NO_3^-$, mas foi observado decréscimo constante da porcentagem de aproveitamento da forma amoniacal até a aplicação realizada aos 42 dias. No final do ciclo não se observaram diferenças entre as formas.

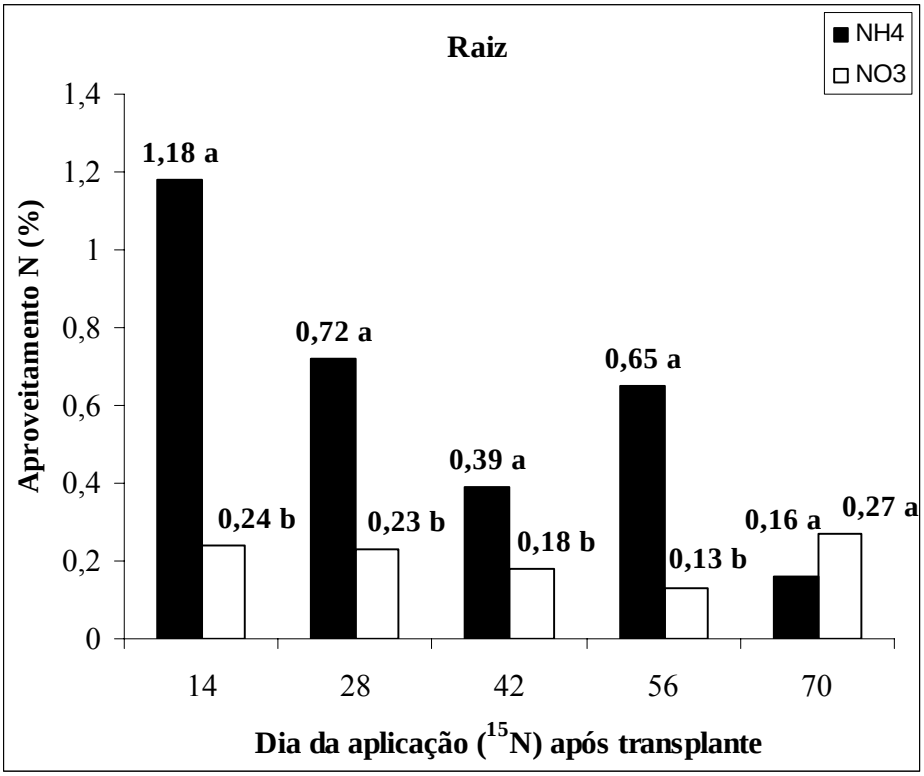


Figura 35 – Aproveitamento do N (%) em função do dia de aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$, na raiz da planta de batata colhida no final do ciclo. Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

O aproveitamento do N (%) nos tubérculos das plantas de batata em função da época de aplicação e da forma usada é apresentado na Figura 36. Houve diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre os tratamentos avaliados.

Na fase inicial do ciclo de crescimento da planta ocorreu maior aproveitamento do N-amoniacal, apresentando no inicio valor superior a 7%. Neste órgão manteve-se o acréscimo do aproveitamento da forma amoniacal até a aplicação realizada aos 56 dias, quando atingiu 15,2%.

O aproveitamento total no tubérculo, somando os das duas formas de N ($N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NO_3^-$), variou de 4,7% a 23,9%. Em campo Maidl, Brunner e Sticksel (2002) obtiveram recuperação bem superior, variando de ao redor de 30% a 60%.

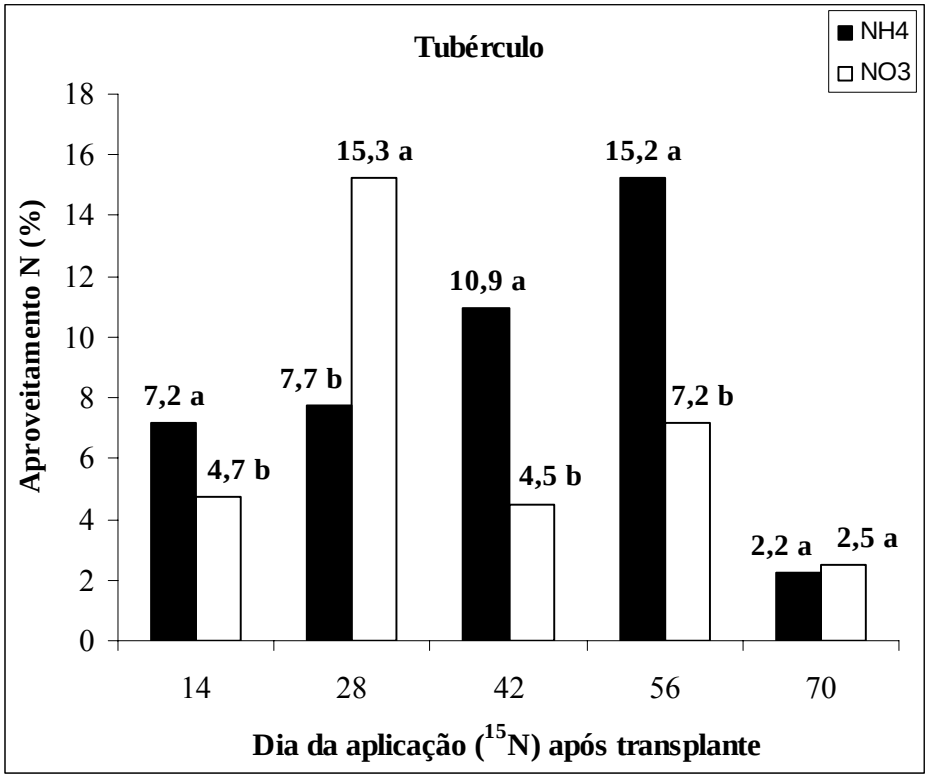


Figura 36 - Aproveitamento do N (%) em função do dia de aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$, no tubérculo da planta de batata colhida no final do ciclo. Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

2.3.3.2 – Absorção de N aplicado em diferentes estádios

Os dados de produção de matéria seca na planta inteira e partes avaliadas são apresentados na Tabela 8, e como esperado não se observaram diferenças significativas ($P \leq 0,05$) nas aplicações de $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$, pois a adubação nitrogenada quanto a forma e dose aplicada foram iguais em todos os vasos.

Tabela 8 – Matéria seca produzida da planta inteira, parte aérea, raízes e tubérculos das plantas de batata cultivada em solução nutritiva em função da época de aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$

Dias	Matéria seca							
	Planta inteira		Parte aérea		Raízes		Tubérculo	
	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$	$^{15}NH_4NO_3$	$NH_4{}^{15}NO_3$
	g planta^{-1}							
14* e 21**	0,39	0,43	0,22	0,27	0,17	0,16	0	0
28 e 35	1,41	1,56	1,13	1,30	0,28	0,26	0	0
42 e 49	3,69	3,89	2,91	3,06	0,35	0,38	0,43	0,45
56 e 63	11,31	11,84	5,93	6,17	0,49	0,53	4,89	5,15
70 e 77	17,26	17,86	7,88	8,18	0,60	0,65	8,78	9,03

Nota: *Dia da aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$
** Dia da colheita das plantas

Observa-se nas figuras 37 e 38 os valores de absorção do N (%) respectivamente na planta inteira e na PA. Para as aplicações realizadas aos 28 e 42 dias após o transplante não se verificaram diferenças significativas na absorção do $N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NO_3^-$ pelas plantas, portanto nesse período de crescimento não há preferência na forma de absorção do N, embora ao contrário do que se observou com o aproveitamento de N, conforme já discutido anteriormente.

Por outro lado nota-se também por essas figuras, diferenças significativas ($P \leq 0,05$) nas aplicações de ^{15}N realizadas aos 14, 56 e 70 dias após o transplante das plântulas de batata (Figuras 37 e 38). Observou-se absorção na planta inteira e PA de respectivamente, 6,2% e 5,1% do $N\text{-}NH_4^+$ contra 3,2% e 3,1% de $N\text{-}NO_3$ na fase inicial do ciclo de crescimento da planta.

Notou-se que com o avanço do ciclo de desenvolvimento das plantas a forma nítrica passou a ser significativamente mais absorvida, mantendo-se essa tendência até a aplicação do ^{15}N aos 70 dias. Esse padrão já apontado na discussão da colheita no final do ciclo sugere que em plantas em início de crescimento podem existir sistemas funcionais incompletos para maior absorção de $N\text{-}NO_3^-$ ou trocas nas posições de carboidratos nas raízes durante o desenvolvimento que podem modificar a forma preferencial de N, como reportado por Ku et al. (1983) e Monson et al. (1986). Na aplicação de ^{15}N realizada aos 70 DAT o aproveitamento do $N\text{-}NO_3^-$ foi 32,1% contra apenas 7,6% do $N\text{-}NH_4^-$ (Figura 37).

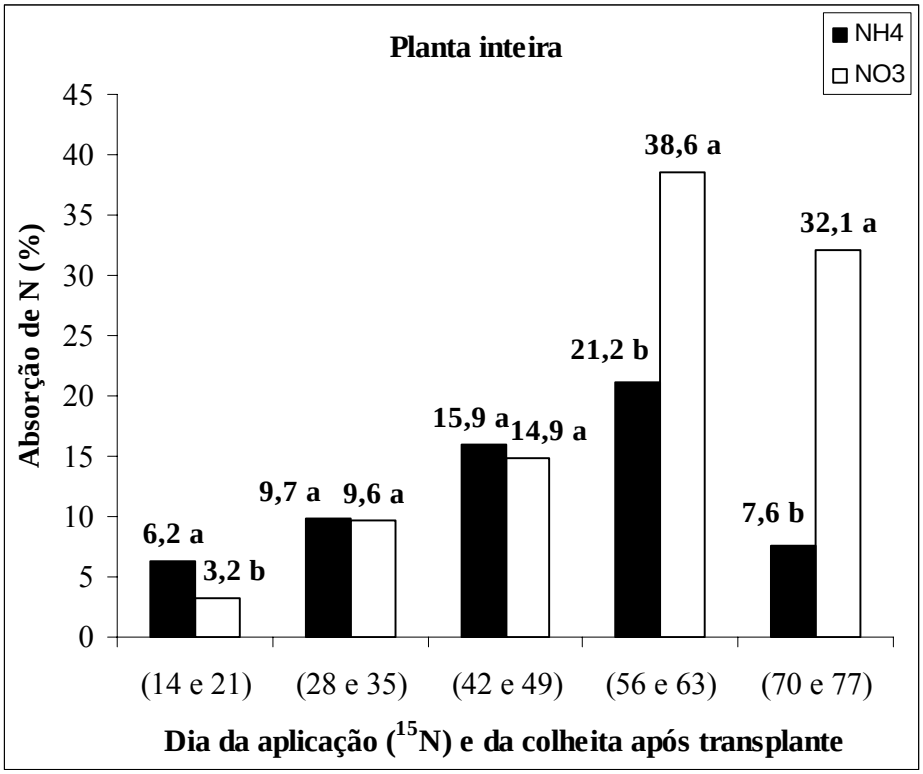


Figura 37 – Absorção do N (%) em função do dia da aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$ (planta inteira de batata). Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

A maior absorção do N-NH_4 no início de desenvolvimento (colheita aos 21 dias) das plantas ocorreu provavelmente pelo menor gasto de energia necessário em reduzir nitrato a amônio, devido a menor taxa fotossintética nessa fase inicial de desenvolvimento. O nitrato absorvido pelas plantas é reduzido à forma amoniacal e o N é combinado nas cadeias orgânicas do vegetal, formando ácido glutâmico e a partir daí outros aminoácidos. Estudos têm indicado que essa assimilação é limitada no processo de redução do nitrato a amônia, processo em que a redutase do nitrato é a enzima-chave (RUFTY et al., 1986; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Já no final do ciclo (colheita aos 63 e 77 dias), período de enchimento dos tubérculos, a absorção do N-NO_3^- na planta inteira e na PA foi significativamente superior ao do N-NH_4^+ (Figuras 37 e 38).

Ogata (1963a e b) verificou que o N-NH_4^+ foi melhor para o desenvolvimento vegetativo, enquanto que o N-NO_3^- para o estágio reprodutivo, momento este em que os carboidratos estão sendo formados, sugerindo que o efeito da fonte de N no crescimento da planta varia dependendo do estágio fisiológico e componente químico necessário em cada fase.

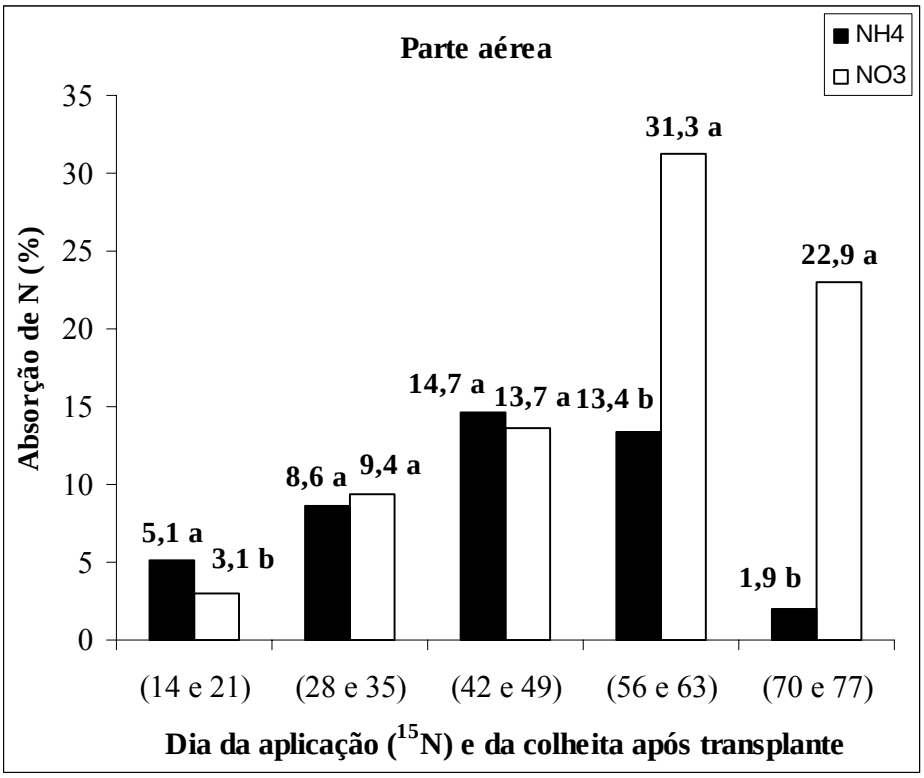


Figura 38 – Absorção do N (%) em função do dia da aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$ (parte aérea da planta de batata). Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

A absorção do N-NO_3^- e N-NH_4^+ pelas raízes são apresentados na Figura 39 e observou-se diferenças significativas ($P \leq 0,05$). A forma amoniacal foi significativamente superior nas duas épocas iniciais de aplicação, com 1,14% e 1,17% de aproveitamento do N-NH_4^+. No final do ciclo, o aproveitamento do N-NO_3^- nas raízes superou o do N-NH_4^+, acompanhando a tendência verificada para a planta inteira e PA.

Osaki et al. (1995a) observaram que durante o estágio de crescimento vegetativo da cultura da batata, cultivada em solução nutritiva contendo $Na^{15}NO_3$ ou $(^{15}NH_4)SO_4$, a quantidade

de N absorvida nas formas de NH_4 e NO_3 foi similar na PA, enquanto que nas raízes houve maior aproveitamento de NO_3^-.

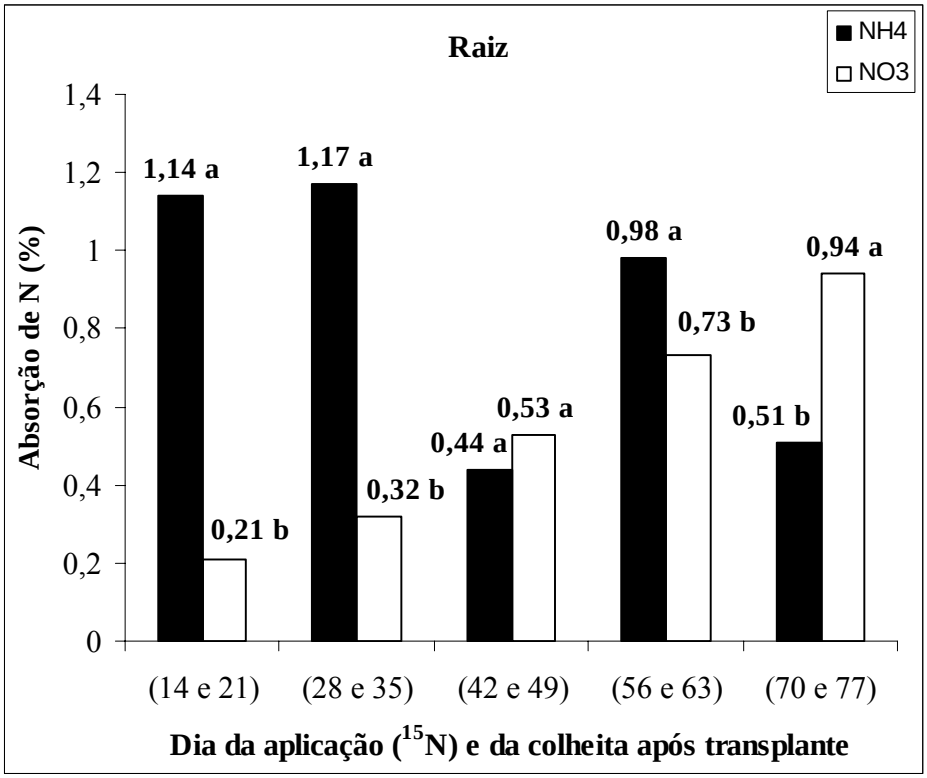


Figura 39 – Absorção do N (%) em função do dia da aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$ (raiz de batateira). Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

A absorção do N (%) nos tubérculos das plantas de batata em função da época de aplicação e da forma de N usada é mostrado na Figura 40. Houve diferenças significativas ($P \leq$ 0,05) no final de ciclo, quando o N-NO_3^- (8,2%) no tubérculo superou o do N-NH_4^+ (5,17%).

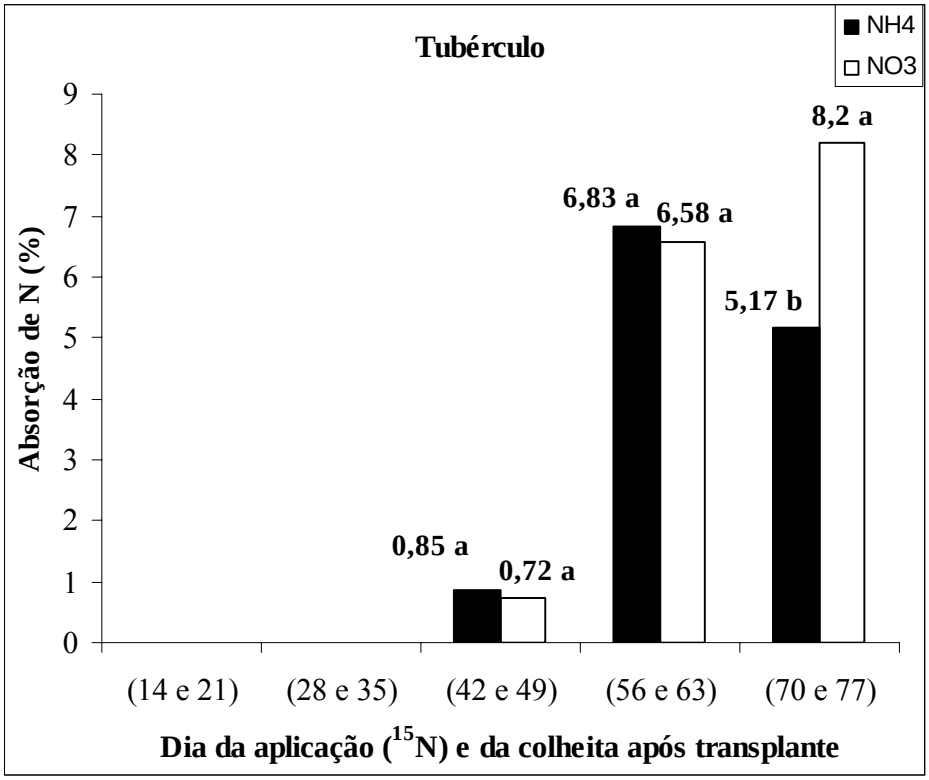


Figura 40 – Absorção do N (%) em função do dia da aplicação do $NH_4{}^{15}NO_3$ ou $^{15}NH_4NO_3$ (tubérculos). Valores seguidos por letras distintas no mesmo período, diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (5%)

Kato et al (1983), ao aplicar $N\text{-}NO_3^-$ junto com $N\text{-}NH_4^+$, verificaram que a distribuição de ambas as formas de N para os grãos de soja foi diferente, o $N\text{-}NO_3^-$ contribuindo mais para a produtividade dos grãos. Por outro lado, Pan et al. (1986) reportaram que a distribuição de N para os grãos de milho não variaram com a forma de N usada. A distribuição dessas duas formas de N para cada órgão ou parte da planta depende da espécie e do estágio de desenvolvimento (OSAKI, et al., 1995a).

Assim, embora não se tenha observado diferenças na produção de matéria seca, notou-se que no final do ciclo da batata há uma maior absorção da forma nítrica, sugerindo que provavelmente a aplicação de uma fonte nitrogenada sem nitrato, como o sulfato de amônio, nessa fase poderia diminuir a produção.

3 CONCLUSÕES

- A produção de matéria seca e o acúmulo de nitrogênio nos tubérculos e na parte aérea foram diretamente relacionados com as doses de N na solução nutritiva.
- O acúmulo de potássio na PA foi diretamente relacionado com o fornecimento de nitrogênio e potássio, enquanto que nos tubérculos apenas de K.
- Houve interação positiva entre nitrogênio e potássio, resultando em diminuição na perda de peso dos tubérculos após período de armazenagem. Na combinação de doses de 12,65 mmol L^{-1} de N e 7,03 mmol L^{-1} de K obteve-se a menor porcentagem de desidratação.
- A seqüência de acúmulo máximo dos macronutrientes foi: potássio > nitrogênio > enxofre > cálcio > fósforo > magnésio. Enquanto que em micronutrientes foi: ferro> manganês > cobre > zinco > boro.
- A forma preferencial de absorção do nitrogênio no estádio inicial de desenvolvimento foi a amoniacal, não tendo havido diferenças das formas nos estádios intermediários (28 e 49 dias após transplante), tornando-se a nítrica após 56 dias (formação de tubérculos). O aproveitamento de N pelas plantas, porém, foi sempre maior com a forma amoniacal aplicada em todos os estádios, com exceção aos 28 dias e no final do ciclo.

REFERÊNCIAS

ABAK, K.; CELIKEL, G. Comparison of some Turkish originated organic and inorganic substrates for tomato soiless culture. **Acta Horticulturae**. The Hague, n. 366, p. 423-429, 1994.

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetable in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae.** The Hague, n. 361, p. 254-257, 1994.

AJAY, O.; MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V. The effects of potassium on ammonium nutrition of tomato. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 62, p. 818-821, 1970.

ANDERSON, D.S.; TEYKER, R.H.; RAYBURN, A.L. Nitrogen form effect on corn root morphological and anatomical development. **Journal of Plant Nutrition**. New York, v. 14, n. 11, p. 1255-1266, 1991.

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142 p.

ANDRIOLO, J.L.; DUARTE, T.S.; LUDKEL, L.; SHREBSKY, E.C. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com fertirrigação. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 15, n. 1, p. 28-32, 1997.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico**. São Paulo, 2000. 252 p.

BAILLE, M.; BAILLE, A.; DELMON, D. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops**. Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 71, p. 83-97, 1994.

BARRIE, A.; PROSSER, J.S. Automated analysis of light element stable isotope by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, W.T.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils.** New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-47.

BEEVERS, L.; SCHRADER, L.E; FLESHER, D.; HAGEMAN, R.H. The role of light and nitrate in the inductions of nitrate reductase in radish cotyledons and mayze seedlings. **Plant Physiology**, Rockville, v. 40, n. 2, p. 691-698, 1965.

BERLIER, Y; GUIRAUD, G. Absorption et utilization par des graminees del'azote nitrique ou amoniacal marquee à l'azote-15. In: SYMPOSIUM OF ISOTOPES IN PLANT NUTRITION AND PHISIOLOGY, 2., 1966, Symposium. **Proceedings …** Hunter's Rest: IEAE, FAO, 1966. p. 145-156.

BLACK, C.A. **Soil plant relationship**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1986. 405 p.

BREMMER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madiso? ASA, 1965. pt. 2, p. 1149-1176. (Agronomy, 9).

BROWN, R.H.; RIGSBY, L.L.; AKIN, D.E. Enclosure of mitochondria by chloroplasts. **Plant Physiology**, Rockville, v. 71, n. 2, p. 437-439, 1983.

BROWN, R.H.; BOUTON, J.H.; RIGSBY, L.L.; RIGLER, M. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. VII. Ultra structural characteristic of panicum species in the laxa group**. Plant Physiology**, Rockville, v. 71, n. 2, p. 425-431, 1983.

CAIN, J.C. A comparison of ammonium and nitrate nitrogen for blueberries. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science,** Leiden, v. 59, p. 161-167, 1952.

CALDEVILLA, E.M.: LOZANO, M.G. **Cultivos sin suelo**: hortalizas en clima mediterráneo. Réus: Ediciones de Horticultura, 1993. 123 p.

CARVALHO, M.M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R.S. Respostas de uma espécie de brachiaria à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 195-200, 1991.

CHANG, D.C.; KIM, S.Y.; HAHM, Y.; SHIN, K.Y. Hidroponic culture system for the production of seed tubers without soil**. American Journal of Potato Research**, Orono, v.77, n. 6, p. 394, 2000.

CINEXPAN. **Produtos.** Disponível em: http://www.cinexpan.com.br/index.html. Acesso em: 18 set. 2006.

COGO, C.M.; ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; GODOI, R.S.; BORTOLOTTO, O.C.; LUZ, G.L. Relação potássio-nitrogênio para o diagnóstico e manejo nutricional da cultura da batata. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p.1781-1786, 2006.

CROCOMO, D.J.; NEPTUNE, A.M.L.; REYES-ZUMETA, H. **Absorción de iones por las plantas.** Maracaibo: LUZ; Facultad de Agronomia, 1965. 187 p.

DANIELS, J. Produção de batata-semente. **Seed News**, Pelotas, v. 5, n. 4, p. 14–15, 2001.

DE LA MORENA, I.; GUILLEN, A.; DEL MORAL, L.F.G. Yield development in potatoes as influenced by cultivar and the timing and level of nitrogen fertilization. **American Potato Journal**, Orono, v. 71, n. 3, p. 165-173, 1994.

DIBB, D.W.; THOMPSON JUNIOR, W.R. Interaction of potassium with other nutrients. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1985.

ELMA CHIPS. **Manual de recomendações técnicas para produção da variedade Atlantic**. 5.ed. Itu, 2000. 15 p.

EWING, E.E. Potato. In: WIEN, H.C. **The physiology of vegetable crops.** Wallingford: CABI, 1997. p. 295-344.

FABRI, E.G.; SALA, F.C.; MINAMI, K. Caracterização física e química de diferentes substratos. In: BARBOSA, J.G.; MARTINEZ, H.E.P.; PEDROSA, M.W.; SEDIYAMA, M.A.N. (Ed.). **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato.** Viçosa: UFV, 2004. p. 120-140.

FAVORETTO, P. **Parâmetros de crescimento e marcha de absorção de nutrientes na produção de minitubérculos de batata cv. Atlantic**. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FAYAD, J.A. **Absorção de nutrientes, crescimento e produção do tomateiro cultivado em condições de campo e estufa**. 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

FAYAD, J.A.; MONDARDO, M.; OLIVEIRA, S.O. de. Absorção de nutrientes, crescimento e produção de tomate, cultivado no sistema de plantio direto. **Boletim Técnico EPAGRI**, Florianópolis, n. 2, p. 14, 2000.

FELTRAN, J.C. **Determinação das características agronômicas, dos distúrbios fisiológicos, do estado nutricional da planta e da qualidade dos tubérculos em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2002. 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

FELTRAN, J.C. **Adubação mineral na cultura da batata e do residual no feijoeiro.** 2005. 124 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2005.

FERNANDES, C.; CORÁ, J.E.; ARAÚJO, J.A.C. de. Teores foliares de nutrientes em tomateiro cultivado em substrato com parcelamento da fertirrigação. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO, 2., 2001, Piracicaba. Piracicaba: Editora, 2001. p. 201-210.

FILGUEIRA, F.A.R. Práticas agronômicas. In: REIFSHENEIDER, F.J.B. (Coord.). **Produção de batata**. Brasília: Linha Gráfica, 1987. p. 29–39.

FILGUEIRA, F.A.R. Nutrição mineral e adubação em bataticultura no centro sul. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 401-428.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Ed. UFV, 2000. 402 p.

FIOREZZE, C. Diagnóstico das regiões produtoras de batata do Rio Grande do Sul. In: SEMINARIO DE ATUALIZAÇÃO NA CULTURA DA BATATA, 1997, Santa Maria. Santa Maria: UFSM; EMATER, 1997. p. 13–25.

FISCHER, P.; MEINKEN, E. Expanded clay as a growing medium: comparison of different products. **Acta Horticulturae**, Leiden, n. 401, p. 115-120, 1995.

FNP CONSULTORIA & COMERCIO. Batata. In: _____. **Agrianual 2005**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p 230-236.

FONTES, P.C.R. Calagem e adubação da cultura da batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 42-52, 1999.

FORTES, G.R.L.; ROOS, F.C.; FLORES, R.; DANTAS, A.C.M. **Multiplicação in vitro de batata (*Solanum tuberosum* L.) em meios semi-sólidos e líquidos com diferentes concentrações de sacarose**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1998. 5 p. (Pesquisa em Andamento).

FORTES, G.R.; PEREIRA, J.E.S. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Ed.). **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2003. p. 69.

FURLANI, P.R.; BOLONHESI, D.; SILVEIRA, L.C.P.; FANQUIN, V**. Cultivo hidropônico de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1999a. 52 p. (Boletim Técnico, 180).

FURLANI, P.R.; BOLONHESI, D.; SILVEIRA, L.C.P.; FANQUIN, V**.** Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 90-98, 1999b.

FURUMOTO, O.; LOPES, C.A. Batata-semente. In: LOPES, C.A.; BUSO, J.A. **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)** Brasília: EMBRAPA, 1997. p 10-15. (Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, 8).

GARGANTINI, H.; BLANCO, G.; GALLO, J.R.; NÓBREGA, S.A. Absorção de nutrientes pela batatinha. **Bragantia**, Campinas, v. 22, n. 22, p. 267-289, 1963.

GASSERT, B.; SPRICH, E.; PFEFFER, H.; DANNEL, F.; WIREN, N.; ROMHELD, V. Characterization of boron uptakes in higher plants. In: GOLDBACH, H. E. et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002. p. 119-126.

GASSERT, J.K.R.T. Soil nitrogen. IV Transformations and movement of fertilizer nitrogen in a light soil. **Journal of Science Food and Agriculture**, New York, v. 10, n. 2, p. 192-197, 1959.

GASSERT, J.K.R.T. Transformation, leaching and uptake of fertilizer nitrogen applied in autumm and spring to winter wheat on a heavy soil. **Journal of Science of Food and Agriculture**, New York, v. 12, n. 2, p. 375-380, 1961.

GEARY, B.; STARK, J.; LOVE, S.; HOPKINS, B.; ELLSWORTH, J.; ATKINSON, D.; WINDES, J. Potato varietal responses to nitrogen rate and timing. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 81, n. 1, p. 60-61, 2004.

GHOSH, B.P.; BURRIS, R.H. Utilization of nitrogen compounds by plants. **Soil Science**, New York, v. 70, n. 1, p. 187-203, 1949.

GRANJA, N. P.; MIRANDA FILHO, H.S. da; MAIA, N.B.; BOVI, O.A. Formação do estoque nuclear de batata-semente em cultivo hidropônico com substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, jul. 2003. Suplemento 1 CD-ROM.

GRANGEIRO, L.C.; CECÍLIO FILHO, A.B. Acúmulo e exportação de macronutrientes pelo híbrido de melancia Tide. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 93-97, 2004.

GRANGEIRO, L.C.; CECÍLIO FILHO, A.B. Acúmulo e exportação de nutrientes em melancia sem sementes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 763-767, 2005.

GRANGEIRO, L.C.; NEGREIROS M.Z. de; SOUZA, B.S. de; AZEVEDO, P.E. de; OLIVEIRA, S.L. de; MEDEIROS, M.A. de. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 267-273, 2007.

HARMSEN, G.H.; KOLENBRANDER, G.J. Soil inorganic nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARCK, F.E. (Ed.). **Soil nitrogen**. Madison: SSSA, 1965. p. 43-71. (Agronomy, 10).

HARRIS, P.M. Mineral nutrition. In: HARRIS, P.M. (Ed.) **The potato crop**: the scientific basis of improvement. London: Chapman & Hall, 1978. p. 195-243.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. 7th ed. New Jersey: Pearson, 2005. 515 p.

HEINRICHS, R.; GAVA, G.J.; CORAZZA, E.J.; DUETE, R.R.C.; VILLANUEVA, F.C.A.; MURAOKA, T. Forma preferencial de absorção de nitrogênio ($^{15}NH_4^+$ ou $^{15}NO_3^-$) pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 25-30, 2006.

HIRANO, E. Produção de semente. In: REIFSHENEIDER, F.J.B. (Coord.). **Produção de batata**. Brasília: Linha Gráfica, 1987. p. 171–183.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.L. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32 p. (Circular, 347).

JACKSON, W.A.; VOLK, R.J. 1966 – Physiological aspects of ammonium nutrition of selected higher plants. In: SYMPOSIUM OF ISOTOPES IN PLANT NUTRITION AND PHYSIOLOGY, 1966, Vienna. **Proceedings ...** Vienna: IAEA; FAO, 1966. p. 159-178.

JONES JUNIOR, J.B. **A guide for the hydroponic and soiless culture grower**. Portland: Timber Press, 1983. 124 p.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILL, H.A. **Plant analysis handbook**. Athens: Micro-Macro Publ., 1991. 213 p.

KAMPF, A.N.; KAMPF, N.; BRANDÃO, C.L. Physical and chemical properties of a brazilian hardened expanded clay. In: INTERNATIONAL SOCIETY ON SOILLESS CULTURE, 8., 1992, Hunter's Rest. **Proceedings …** Hunter's Rest: International Society for Soilless Culture, 1992. p. 199-208.

KATO, T.; YAMAGATA, M.; TSUKAHARA, S. Uptake and partitioning of ^{15}N-ammonium and ^{15}N-nitrate applied at the various stages in soybean**. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 54, n. 1, p. 25-29, 1983.

KRATZKE, M.G.; PALTA, J.P. Calcium accumulation in potato tubers: role of basal roots. **Hortscience**, Alexandra, v. 21, n. 4, p. 1022-1024, 1986.

KU, S.B.M.; MONSON, R.K.; LITTLEJOHN R.O.; NAKAMOTO, H.; FISHER, D.B.; EDWARDS, G.E. Photosynthetic characteristic of C_3-C_4 intermediate *Flaveria* species. I. Leaf anatomy, photosynthetic response to O_2 and CO_2 and activities of key enzymes in the C_3 and C_4 pathways**. Plant Physiology**, Rockville, v. 71, n. 4, p. 944-948, 1983.

LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-Mombaça.** 2001. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

LEE, R.B.; RUDGE, R.A. Effects of nitrogen deficiency on the absorption of nitrate and ammonium by barley plants. **Annals of Botany**, London, v. 57, p. 471-486, 1986.

LEMAIRE, F. Physical, chemical and biological properties as growing medium. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 396, p. 273-284, 1995.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. p. 3-43.

LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **Biofactors**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 229-239, Apr. 1992.

LOPES, C.A.; FURUMOTO, O. In: LOPES, C.A.; BUSO, J.A. **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)** Brasília: EMBRAPA, 1997. 35 p. (Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, 8).

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, D.A.; MIRANDA FILHO, H.S; RAIJ, B van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p. 221-223. (IAC. Boletim Técnico, 100).

MACEDO, M.C.M.; HAAG, H.P.; GALLO, J.R. Absorção de nutrientes por cultivares de batatinha (*Solanum tuberosum*). In: HAAG, H.P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral de hortaliças**. Campinas: Fundação Cargill, 1981. p. 447-474.

MACLEOD, L.B. Effects of N, P and K and their interactions on the yield and kernel weight of barley in hydroponic culture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, p. 26-29, 1969.

MAGALHÃES, J.R. **Nutrição e adubação da batata**. São Paulo: Nobel, 1985. 51 p.

MAGALHÃES, J.R. **Diagnose de desordens nutricionais em hortaliças.** Brasília: EMBRAPA, CNPH, 1988. 64 p. (EMBRAPA. CNPH. Documentos, 1).

MAIDL, F.X.; BRUNNER, E.; STICKSEL, E. Potato uptake and recovery of nitrogen ^{15}N-enriched ammonium nitrate. **Geoderma**, Wageningen, v. 105, n. 1, p. 167-177. 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. 2.ed. São Paulo: Agronomia Ceres, 1967. 393 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MANRIQUE, L.A. Potato production in the tropics: crop requirements. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, p. 2679-2728, 1992.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H.E.P.; BARBOSA, J.G. Substratos para hidroponia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 81-89, set./dez. 1999.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas.** Viçosa: UFV, 1997. 52 p.

MARTINEZ, P.F. Manejo de substratos para horticultura In: FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; ABREIR, M.F.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: IAC, 2002. p. 53-76. (IAC. Documentos, 70).

MASS, E.V.; HOFFMAN, G.V. Crop salt tolerance-current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage**, Berlin, v. 103, p. 1150 – 1334, 1977.

MCFEE, W.W.; STONE JR., E.L. Ammonium and nitrate as nitrogen sources for *Pinus radiate* and *Picea glauca*. **Soil Science Society of América Journal**, Madison, v. 32, p. 879-884, 1967.

MEDEIROS, C.A.B.; SILVA, E.S.B. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistema de cultivo sem solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 300, 1999.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute. 1987. 687 p.

MESQUITA, H.A. de. **Produção, qualidade e teores de nutrientes da batata (*Solanum tuberosum* L.), em solos sob cerrado, em função do boro**. 2004. 96 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MILLAR, P.; MACKERRON, D.K.L. The effects of nitrogen application on growth and nitrogen distribution within the potato canopy. **Annals of Applied Biology**, New York, v. 109, n. 2, p. 427-437, 1986.

MILNER, L. M Water and fertilizers management in substrates. In: INTERNACIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 6., Ribeirão Preto, 2001**. Proceedings ...** Ribeirão Preto: [s.n.], 2001. p. 93-95.

MINER, J.A. **Substratos**: propriedades e caracterização. Bilbao: Mundi-Prensa, 1994. 171 p.

MINOTTI, P.L.; WILLIANS; D.C.; JACKSON, W.A. The influence of ammonium on nitrate reduction in wheat seedlings. **Planta**, Berlin, v. 86, p. 267–271, 1969

MIRANDA FILHO, H.S.; GRANJA, N.P.; MELO, P.C.T. **Cultura da batata**. Apostila. Vargem Grande do Sul, 2003. 68 p.

MONSON, R.K.; MOORE, B.D.; KU, M.S.B.; EDWARDS, G.E. Co-function of C_3 and C_4 photosynthetic pathways in C_3, C_4 and C_3-C_4 intermediate *Flaveria* species. **Planta,** Berlin, v. 168, n. 4, p. 493-502, 1986.

NIELSEN, K.F.; CUNNINGHAN, R.K. The effect of soil temperature and form and level of growth and chemical composition of Italian rye-grass. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 28, p. 210-218, 1964.

NOMMIK, H. Ammonium fixation and other reactions involving a nonenzymatic immobilization of mineral nitrogen in Soil. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARCK, F.E. (Ed.). **Soil nitrogen**. Madison: SSSA, 1965. p. 200-251. (Agronomy, 10).

OERTLI, J.J. Effect of the form of nitrogen and pH on growth of blueberry plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, p. 305-307, 1963.

OGATA, S. The nutrio-physiological significances of NH4- and NO3-N for the plant growth (Part 1). Effect of NH4- and NO3-N concentration on the growth of oat plants. **Journal of Science Soil Manure**, Tokyo, v. 34, p. 313-317, 1963a.

OGATA, S. The nutrio-physiological significances of NH4- and NO3-N for the plant growth (Part 2). Effect of NH4- and NO3-N on the composition of organic constituents and the enzymatic activity of various parts of oat plants. **Journal of Science Soil Manure**, Tokyo, v. 34, p. 318-322, 1963b.

OSAKI, M., SHIRAI, J. SHINATO, T.; TADANO, T. ^{15}N-allocation of ^{15}NH4-N and ^{15}NO3-N to nitrogenous compounds at the vegetative growth stage of potato plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n. 3, p. 699-708. 1995a.

OSAKI, M.; SHIRAI, J.; SHINANO, T.; TADANO, T. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n. 4, p. 709-719, 1995b.

PAN, W.L.; CAMBERATO, J.L.; JACKSON, W.A.; MOLL, R.H. Utilization of previously accumulated and concurrently absorbed nitrogen during growth in maize. Influence of prolificacy and nitrogen source. **Plant Physiology**, Rockville, v. 82, n. 1, p. 247-253, 1986.

PAULA, M.B.; FONTES, P.C.R.; NOGUEIRA, F.D. Produção de matéria seca e absorção de macronutrientes por cultivares de batata. **Horticultura Brasileira,** Brasília, v. 4, n. 1, p. 10-16, 1986.

PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Ed.). **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2003. 419 p.

PERRENOUD, S. **Potato:** fertilizers for yield and quality. Bern: International Potash Institute, 1993. 94 p.

POLIZOTTO, K.R.; WILCOX, G.E.; JONES, C.M. Response of growth and mineral composition of potato to nitrate and ammonium nitrogen. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, New York, v. 100, p. 165-168, 1975.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAMOS, V.J. **Produção e qualidade da batata (*Solanum tuberosum ssp tuberosum*), cultivar Itararé (IAC-5986) em função do peso do tubérculo semente, densidade de plantas e adubação**. 1999. 96 p. Tese (Doutoramento em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

REIS JUNIOR, R.A. **Produção, qualidade de tubérculos e teores de K no solo e no pecíolo da batateira em resposta a adubação potássica**. 1995. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

REIS JUNIOR, R.A; FONTES, P.C.R. Qualidade de tubérculos da batateira em função e doses de adubação potássica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 170-174, 1996.

REIS JUNIOR, R.A.; MONNERAT, P.H. Composição mineral de tubérculos de batata em função da adubação potássica: macronutrientes. **Actas de Horticultura,** Brasília, v. 16, n. 3, p. 355-362, 1997.

REIS JUNIOR, R.A.; MONNERAT, P.H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 227-231, 2001.

RESH, H.M. **Hydroponic food production**. 5th ed. Berkeley: Woodbridge Press, 1996. 572 p.

ROBERTS, S.; DOLE, R.E. Potassium nutrition of potatoes. In: MUNSON, R.D. **Potassium in agriculture.** Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 799-818.

ROCHA, F.A.T. **Crescimento, produção e qualidade de tubérculos de batata em função da fertilização fosfatada**. 1995. 77 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

RODRIGUES, L.R.F. **Cultivo pela técnica de hidroponia**: técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido, Jaboticabal: FUNEP, 2002. 726 p.

ROMANENKO, G.A. Brasil e Rússia: a união faz a força na agricultura e na biotecnologia. **Biotecnologia**, Piracicaba, n. 2, p. 30-33, 1997.

ROSOLEM, C.A. Interação de potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Inpofos; IIP, 2005. p. 239-256.

RUFTY, T.W. Jr.; THOMAS, J.F.; REMMLEER, J.L.; CAMPBEL, W.H.; VOLK, R.J. Intracellular localization of nitrate reductase in roots. **Plant Physiology**, Rockville, v.82, n.3, p. 675-680, 1986.

SANTOS, O.S. Conceito, histórico e vantagens da hidroponia. In: SANTOS, O. **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. p. 5-9.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT:** user's guide, version 6.11. 4th ed. Cary,1996. v. 2, 842 p.

SCARSBOOK, C.E. Nitrogen availability. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARCK, F.E. (Ed.). **Soil nitrogen**. Madison: SSSA, 1965. p. 486-501. (Agronomy, 10).

SHEN, T.C. The induction of nitrate reductase and the preferencial assimilation of ammonium in germinating rice seeding. **Plant Physiology**. Rockville, v. 44, p. 1650-1655, 1969.

STAHL, A.L.; SHIVE, W.J. Studies on nitrogen absorption from culture solutions . I. Oats. **Soil Science**, Baltimore, v. 35, p. 375-399, 1933.

TADANO, T.; TANAKA, T. Composition of adaptability to ammonium and nitrate among crop plants (Part I). Selective absorption between and responses to ammonium and nitrate of crop plants during early growth stage. Studies on the comparative plant nutrition. **Journal of Science Soil Manure**, Tokyo, v. 47, p. 321-328, 1976.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VALOIS, A.C.C.; PAIVA, J.R.; FERREIRA, F.R.; SOARES FILHO, W.S.; DANTAS, J.L.L. Melhoramento de espécies de propagação vegetativa. In: NASS, L.L; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (Ed.) **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. cap. 11, p. 286–290.

VERDONCK, O.; PENNINCK, R.; DOODT, M. The physical properties as different horticultural substrates**. Acta Horticulturae**, The Hague, n. 150, p. 155-160, 1983.

VIANA, E.M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

VIRTANEN, A.J.; H. LINKOLA, H. Organic nitrogen compounds as nitrogen nutrition for higher plants. **Nature**. p. 158-515, 1946.

WALTON, C.F. Oasis Floral, the substrate for plant production. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOIL SOILLESS CULTURE, 5, 1980, Wageningen. **Proceedings …**Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1980. p. 305-311.

WARMCKE, D.D.; BARBER, S.A. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentration and NH_4^+/NO_3^- ratio. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 950-953, 1973.

WESTERMAN, D.T. Fertility management. In: ROWE, R.C. (Ed). **Potato health management**. St. Paul: APS Press, 1983. p. 77-86.

WESTERMAN, D.T.; JAMES, D.W.; TINDALL, T.A.; HURST, R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes sugars and starch. **American Potato Journal**, Orono, v. 71, n. 7, p. 433-453, 1994a.

WESTERMANN, D.T.; TINDALL, T.A.; JAMES, D.W.; HURST, T.R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity. **American Potato Journal**, Orono, v. 71, p. 417-432, 1994b.

WRAY, J.L.; RIES, S.K.; FILNER, P. Protein accumulation and the regulation of nitrate reduction in higher plants. In: SYMPOSIUM OF IMPROVING PLANT PROTEIN BY NUCLEAR TECHNIQUES, 1970, Vienna. **Proceedings ...** Vienna: IAEA; FAO, 1970. p. 407-408.

YORINORI, G. T. **Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. 'Atlantic'**. 2003. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ZSOLDOS, F. Ammonium and nitrate ion uptake by plants. In: RESEARCH CO-ORDINATION MEETING IN NITROGEN -15 IN SOIL-PLANT STUDIES, 1971, Vienna. **Proceedings ...** Vienna: IAEA; FAO, 1971. p. 81-89.