

FABRÍCIO SILVA COELHO

**USO DO CLOROFILÔMETRO COMO FERRAMENTA DE
MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DA CULTURA
DA BATATA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C672u
2011

Coelho, Fabrício Silva, 1983-

 Uso do clorofilômetro como ferramenta de manejo da
 adubação nitrogenada da cultura da batata / Fabrício Silva
 Coelho. – Viçosa, MG, 2011.

 xiii, 162f. : il. ; 29cm.

 Inclui apêndices.

 Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.

 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

 Inclui bibliografia.

 1. Batata - Efeito do nitrogênio - Análise. 2. Batata -
 Folha - Teor de Clorofila. 3. Nitrogênio. 4. Clorofila -
 Análise. 5. Batata - Nutrição. 6. Batata - Adubos e
 fertilizantes. 7. Nutrição mineral. I. Universidade Federal de
 Viçosa. II. Título.

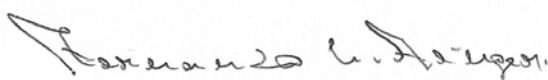
CDD 22. ed. 635.21894

FABRÍCIO SILVA COELHO


**USO DO CLOROFILÔMETRO COMO FERRAMENTA DE
MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DA CULTURA
DA BATATA**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para
obtenção do título de *Doctor
Scientiae*

APROVADA: 26 de julho de 2011



Prof. Fernando Luiz Finger
(Co-orientador)



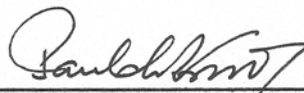
Prof. Rovilson José de Souza



Dra. Maria Aparecida Nogueira
Sedyama



Dr. Joaquim Gonçalves de Pádua



Prof. Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)

*“Nunca se limite a andar pelo caminho
traçado, pois ele conduz somente
até onde os outros foram...”*
Alexander Graham Bell

À minha família, em especial aos meus pais José Francisco e Vanda, ao meu irmão Guilherme e amigos pelo carinho, força e confiança depositada na minha pessoa.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a conclusão deste trabalho e por estar presente em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto original.

À minha namorada Elis Regina, pelos conselhos, força, carinho e amor.

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pelos valiosos ensinamentos, orientação, paciência e amizade.

Aos professores Fernando Luiz Finger, Paulo Roberto Cecon e Ivo Ribeiro da Silva, pela co-orientação e pelas sugestões.

Ao professor Rovilson José de Souza e aos pesquisadores Joaquim Gonçalves de Pádua e Maria Aparecida Nogueira Sedyama, pela participação na banca examinadora e sugestões.

Aos professores Mário Puiatti, Fábio DaMatta, Derly José Henriques da Silva, Paulo Roberto Cecon, Fernando Luiz Finger e Rita Márcia Andrade Vaz de Mello, pelos ensinamentos e boa amizade.

Aos funcionários da horta nova de pesquisa da UFV, Paulo Márcio Antônio Carlos “Cesário”, Wanderley Lopes “Derley”, Expedito Bonifácio, Juvercino Agripino, José Júlio “Mundinho”, Antônio Freitas “Antônio Rosa”, José Antônio e Beto, como também ao motorista Jorge, pela imprescindível ajuda na área experimental.

Aos laboratoristas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas Domingos Sávio e Itamar Duarte pela ajuda e dicas durante as análises laboratoriais.

Aos amigos de Lavras e Viçosa, William Efrem (“Preto”), Marcelo Sabato, Dr. Cristiano Honório (“Branção”), Moisés Zucoloto, Victor Vicentini, Vinícius Valim, Hélio Gonda (“Japa”), Lucas (“Budinha”), Álvaro Augusto, Marcelo Cleón, Heder Braun, Armindo, Marialva Alvarenga, Christiane, Juliane, Ana Paula, Adalvan, Milton Flores, Nelson Licínio, Gustavo Sessa, Caio Salgado, Fábio (“Fubá”), Marcos (“Pateta”), André, dentre inúmeros outros, pela grande amizade, convivência e apoio durante a caminhada por esta vitória.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, de alguma forma, para que este trabalho fosse realizado meu eterno agradecimento.

“Eu poderia suportar, embora não sem dor, que tivessem morrido todos os meus amores, mas enlouqueceria se morressem todos os meus amigos!”

Vinícius de Moraes

BIOGRAFIA

FABRÍCIO SILVA COELHO, filho de José Francisco Coelho Filho e Vanda Silva Coelho, nasceu em Lavras – MG, em 23 de julho de 1983.

Em 2003 ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras (UFLA), graduando-se em julho de 2007, defendendo monografia intitulada: Eficácia de fungicidas no controle da pinta-preta (*Alternaria solani*) do tomateiro.

Em agosto de 2007 iniciou o mestrado no Departamento de Fitotecnia sendo aprovado em agosto de 2008 na mudança de nível, passando do mestrado para o doutorado, defendendo a tese em julho de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Aspectos gerais da cultura da batata	4
2.2. Nitrogênio na cultura da batata	6
2.3. Eficiência do uso do N.....	8
2.4. Ferramentas para avaliar o estado de N em tempo real	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
CAPÍTULO 1	23
Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e nível crítico de índices do estado de nitrogênio na folha	23
1. INTRODUÇÃO	23
2. MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1. Localização e caracterização das áreas experimentais.....	27
2.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	29
2.3. Instalação e condução dos experimentos – parte de campo	30
2.4. Características avaliadas.....	31
2.4.1. Medições ópticas de clorofila (CHL) e flavonóis (FLV) da folha	31
2.4.2. Teor de clorofila extraível na quarta folha	32
2.4.3. Teor e conteúdo de N na quarta folha.....	32
2.4.4. Produção comercial e total de tubérculos	33
2.5. Análise estatística	33
2.6. Máxima eficiência econômica (MEE), nível crítico e rendimento relativo	33
3. RESULTADOS	35
3.1. Produção total e comercial de tubérculos	35
3.2. Medições ópticas de clorofila e polifenóis.....	37
3.3. Teor de clorofila extraível.....	41
3.4. Teor e conteúdo de N na quarta folha	44

3.5. Relação entre Índice SPAD e Rendimento relativo	48
3.6. Correlações das características medidas na quarta folha da planta de batata, aos 21 e 42 dias após a emergência, com o número total de tubérculos, produção total de tubérculos e produção de tubérculos comerciais.....	50
4. DISCUSSÃO	55
5. RESUMO E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 1	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
 CAPÍTULO 2.....	 73
Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de nitrogênio em cobertura e reflexos sobre a lucratividade e índices de eficiência na cultura da batata, em duas épocas de plantio	73
1. INTRODUÇÃO	73
2. MATERIAL E MÉTODOS	77
2.1. Localização e caracterização das áreas experimentais.....	77
2.2. Tratamentos e delimitação experimental.....	79
2.3. Instalação e condução dos experimentos no campo	82
2.4. Características avaliadas.....	83
2.4.1. Produtividade total, comercial e número de tubérculos.....	83
2.4.2. Análise econômica	84
2.4.3. Extração de N, índice de recuperação e eficiência no uso do N	85
2.4.4. Acurácia do método proposto.....	86
2.5. Análises estatísticas	88
3. RESULTADOS	89
3.1. Experimento da safra “de inverno”	89
3.1.1. Produção total, comercial e número de tubérculos	89
3.1.2. Análise econômica	94
3.1.3. Eficiências de recuperação e uso do N, quantidade de N absorvida e índice de colheita.....	96
3.1.4. Correlação entre a produtividade relativa e o ISN e acurácia do método	98
3.2. Experimento da safra “das águas”	100
3.2.1. Produção total, comercial e número de tubérculos	100
3.2.2. Análise econômica	105
3.2.3. Eficiências de recuperação e uso do N, quantidade de N absorvida e índice de colheita.....	107
3.2.4. Correlação entre a produtividade relativa e o ISN e acurácia do método	109

4. DISCUSSÃO	111
5. RESUMO E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 2	119
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
CAPÍTULO 3.....	128
Valor e predição do nível crítico de índices na folha para avaliar o estado de N da planta estimados por dois procedimentos	128
1. INTRODUÇÃO	128
2. MATERIAL E MÉTODOS	131
2.1. Localização e caracterização das áreas experimentais.....	131
2.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	131
2.3. Instalação e condução dos experimentos no campo	131
2.4. Características analisadas	131
3. RESULTADOS	134
3.1. Índice SPAD na QF.....	134
3.2. Ângulo Hue na QF	135
3.3. Teor de N total na QF	136
3.4. Massa da matéria seca da quarta-folha.....	138
3.5. Níveis críticos estimados pelo gráfico de Cate-Nelson e associado a dose de máxima eficiência econômica	140
4. DISCUSSÃO	142
5. RESUMO E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3.....	146
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
APÊNDICES	151
APÊNDICE A.....	152
APÊNDICE B.....	161

RESUMO

COELHO, FABRÍCIO SILVA, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Uso do clorofilômetro como ferramenta de manejo da adubação nitrogenada da cultura da batata.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva, Paulo Roberto Cecon e Fernando Luiz Finger.

Os objetivos da tese foram: a) estabelecer a dose ótima de nitrogênio (N) para a máxima produtividade econômica de tubérculos de batata e estimar o valor do nível crítico de índices do estado de N da planta; b) utilizar as leituras do clorofilômetro SPAD-502 como indicadoras da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura e verificar o reflexo deste manejo na produtividade, lucratividade e eficiência do uso do N na cultura da batata; c) estimar o percentual de acerto do diagnóstico ao ser usado o procedimento gráfico de Cate-Nelson para determinar o nível crítico dos índices do estado de N na planta. Também objetivou-se propor valores de nível crítico para os índices estimados pelos procedimentos gráfico de Cate-Nelson e matemático. Foram conduzidos dois experimentos nas épocas “de inverno” e “de verão”, com a cultivar de batata Ágata. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, sendo os tratamentos constituídos de cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) aplicadas no sulco em pré-plantio, com quatro repetições. Como fonte de N foi utilizada a uréia. Aos 21 dias após a emergência das plantas (DAE), o clorofilômetro foi usado como indicador da necessidade de adubação em cobertura, após a medição na quarta folha a partir do ápice da planta e cálculo do índice de suficiência de N (ISN). Esse índice serviu de base para calcular a dose de N a aplicar em cobertura, complementando os tratamentos iniciais de 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹. A dose estimada em

cobertura foi aplicada na metade da parcela, para avaliar a incidência do número de diagnósticos falso e verdadeiro. Sem aplicar N em cobertura, a máxima produtividade econômica de tubérculos de batata foi 41,1 t ha⁻¹ com a dose em pré-plantio de 252 kg ha⁻¹ de N na safra “de inverno” e 27,6 t ha⁻¹ com 279 kg ha⁻¹ de N na safra “das águas”. A combinação das doses em pré-plantio de 200 kg ha⁻¹ e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporcionou a maior lucratividade da cultura. Todos os índices avaliados aos 21 e 42 DAE, em ambas as épocas de cultivo foram significativamente influenciados por doses de N. Houve 70 e 85 % de decisões corretas nas safras “de inverno” e “de verão”, respectivamente, quando o critério do ISN para a decisão de aplicar N foi combinado com o índice SPAD para estimar a dose de N em cobertura, sendo mais eficaz na identificação das plantas nos tratamentos com as menores doses de N (0, 50 e 100 kg ha⁻¹). Verificaram-se algumas discrepâncias nos valores do nível crítico dos índices de N da folha utilizando-se os procedimentos gráfico de Cate-Nelson e matemático.

ABSTRACT

COELHO, FABRÍCIO SILVA, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **The use of chlorophyll meter as a tool to guide nitrogen fertilization of potato crop.** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-advisers: Ivo Ribeiro da Silva, Paulo Roberto Cecon and Fernando Luiz Finger.

The objectives of the thesis were: a) to determine the optimum economical nitrogen (N) level for potato tuber yield and to estimate the critical value of leaf N indices; b) to utilize the chlorophyll meter reading as an indicator of the sidedress N fertilizer needs and to evaluate the influence of this N management on tuber yield, profitability and N use efficiency by the potato plants; c) to estimate the correct diagnosis percentage obtained by the Cate-Nelson graphical procedure in determining the plant N index threshold values. It also aimed to propose index threshold values estimated by Cate-Nelson graphical and mathematical procedures. Experiments were set in the “winter” and “rain” seasons with Ágata cultivar. The experiments were set in randomized blocks design with four replications. The treatments consist of five N rates (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ of N), as urea applied in the furrow at planting. At 21 days after plant emergence (DAE), the chlorophyll meter SPAD-502 was used as an indicator of the sidedress N fertilizer needs, after measuring the fourth leaf from the plant apex and calculating the N sufficiency index (NSI). This index served as the basis to calculate the N dose to be sidedressing complementing the initial 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ treatments. The calculated sidedress N rate was applied in the half of the plot, to assess the number of true and false diagnosis. Without sidedress N, the highest economic potato yield was 41.1 t ha⁻¹ with 252 kg ha⁻¹ of N in the “winter season” and 27.6 t ha⁻¹ with 279 kg ha⁻¹ of N in the “rain season”. The combination of 200 kg ha⁻¹ of N at pre-planting and 60 kg ha⁻¹

sidedressed provided the highest profitability. There were 70 and 85 % of correct decisions in the "winter" and "rain" seasons, respectively, when the ISN criterion was combined with the SPAD index to estimate the N rate, being more efficient to recognize plants growing at low N supply (0, 50 and 100 kg ha⁻¹ N treatments). There were some discrepancies in critical values estimated by Cate-Nelson and mathematical procedures.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é considerada, em termos mundiais, a terceira fonte alimentar da humanidade, sendo suplantada pelo arroz e trigo, já que o milho é mais utilizado em nutrição animal. Originária da região dos altiplanos andinos da América do Sul, a batata já era cultivada e consumida pelos Incas há mais de 7.000 anos. Somente em meados do século XVI a batata foi introduzida na Europa, onde se popularizou, difundindo-se daí para os outros continentes (Love et al., 2003). Cultivada em mais de 125 países, em 2009, a produção mundial de batata foi 332,3 milhões de toneladas, com área plantada de 18,2 milhões de hectares e produtividade média de 18,3 t ha⁻¹. Neste mesmo ano, foram plantados no Brasil 141 mil hectares com a produção de 3,4 milhões de toneladas, alcançando a produtividade média de 24,2 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2011).

Nos últimos anos, tem ocorrido a incorporação de novas fronteiras de cultivo, incremento na produção de batata e melhoria do material de propagação, permitindo o melhor aproveitamento dos insumos e contribuindo para o aumento da produtividade. Entre os insumos, os fertilizantes são considerados fundamentais, visto que a cultura da batata apresenta alta taxa de crescimento, ciclo relativamente curto e elevada produção de tubérculos por unidade de área.

Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) é um dos mais absorvidos pela batateira, influenciando o desenvolvimento da parte aérea, a diferenciação e o crescimento dos tubérculos. No solo, o N apresenta alta mobilidade e instabilidade, estando sujeito a perdas significativas, principalmente por lixiviação. Assim, é importante investigar fatores que

possam interferir na máxima eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela batateira, com mínimas perdas para economizar recursos financeiros, evitar problemas de contaminação das águas subterrâneas e de superfície, além de aumentar a produtividade da cultura.

Estratégias conservacionistas sugerem o parcelamento da adubação nitrogenada. Parte da dose de N é aplicada no momento do plantio e parte em cobertura, após a emergência da planta, monitorando-se a cultura para estabelecer o momento e a quantidade de N suplementar (MacKerron, 2000), considerando-se as condições locais (Fontes, 2011).

O uso da planta como indicadora parece ser mais apropriado e conveniente do que o solo, devido a amostragem e o tempo para as análises serem mais rápidas (Olivier et al., 2006), além da imperfeição e instabilidade na análise do teor de N disponível no solo. A avaliação da planta pode ser realizada por diversos procedimentos dentre os quais a análise do teor de N na matéria seca e pela determinação indireta do teor de clorofila na folha (Fontes & Araújo, 2007). Estudos têm mostrado que o teor de N na folha correlaciona-se positivamente com a taxa fotossintética da planta, sendo a clorofila, pigmento de coloração verde, envolvida diretamente no processo de fotossíntese (Makino et al., 1994; Vouillot et al., 1998).

A avaliação do verde da folha de forma rápida, com baixo custo e em tempo real tornou-se mais fácil com os recentes avanços e aperfeiçoamento de medidores portáteis de clorofila (Blackmer & Schepers, 1995; Guimarães et al., 1999), possibilitando a utilização dos mesmos como critério de avaliação do estado de N nas plantas.

Para a batata, as análises rápidas ou em tempo real do estado de N nas plantas mais comuns envolvem a utilização de tabela de cor (Silva & Fontes, 2006), teor de nitrato no suco celular (Majic et al., 2009) e clorofilômetro SPAD-502 (Gil et al., 2002; Coelho et al., 2010). Em 2004, foi lançado no mercado o Dualex, um equipamento para a determinação indireta do N na folha utilizando-se a concentração de clorofila como uma das variáveis (Fontes, 2011). Esse equipamento está sendo utilizado pela primeira vez no Brasil pelo grupo de Nutrição Mineral da UFV, especificamente na cultura da batata.

No entanto, a possibilidade de ser utilizado um índice da planta não somente como indicador do estado de N, mas também como indicador da dose do fertilizante nitrogenado tem sido pouco explorada na cultura da batata. Isso tem sido mais utilizado nas culturas de grãos (Fontes, 2011) e, excepcionalmente, em tomateiro (Fontes & Araújo, 2006; 2007). Ademais, não está bem estabelecido se o nível crítico desses índices varia com as diferentes épocas de plantio de batata.

Objetivou-se com o presente trabalho estabelecer índices de N na planta associados à máxima produtividade comercial de tubérculos de batata e manejar a aplicação de N em cobertura com base no índice SPAD-502.

Para atingir os objetivos foram conduzidos dois experimentos de campo, em duas distintas épocas de plantio, “safra de inverno” e “safra das águas”, com a cultivar de batata Ágata. Os resultados são apresentados em três capítulos:

Capítulo 1: Dose de N associada à produtividade de batata e níveis críticos de índices do estado de N na folha.

Capítulo 2: Produtividade, lucratividade e índices de eficiência com o uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de N em cobertura.

Capítulo 3: Valor e predição do nível crítico de índices na folha para avaliar o estado de N da planta estimados por dois procedimentos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura da batata

A batata teve como centro de origem a vizinhança do lago Titicaca, na fronteira entre Peru e Bolívia. Nos Andes, a bataticultura tem sido praticada pelos indígenas, nos últimos oito milênios, havendo oito espécies botânicas cultivadas e mais de 200 espécies tuberíferas silvestres. Introduzida na Europa no século XVI pelos conquistadores espanhóis, é hoje um dos produtos alimentares mais difundidos em todo o mundo. Disseminada pela maioria das regiões tropicais e subtropicais do planeta, converteu-se, na atualidade, na base da alimentação de muitos povos (Pereira, 2008).

A batata é uma solanácea anual, que apresenta caules aéreos, herbáceos, e suas raízes originam-se na base desses caules ou hastes. O sistema radicular é delicado e superficial, com raízes concentrando-se até 30 cm de profundidade. Suas folhas são compostas por folíolos arredondados e as flores hermafroditas reunidas em inflorescências no topo da planta. O tubérculo é a forma de reserva, de reprodução e a parte comercial da planta (Fontes, 2005).

Por ser uma das culturas que apresenta maior produção de energia e proteínas por hectare por dia, tornou-se um dos principais componentes da dieta alimentar nos países desenvolvidos, sendo um dos alimentos mais nutritivos para o homem. O tubérculo não é apenas rico em carboidratos, apresenta também alto valor nutritivo, com proteínas de boa qualidade e alto índice de valor biológico, vitaminas e sais minerais, sendo que 100 g deste

produto suprem cerca de 10% das necessidades de um adulto em tiamina, niacinas, vitamina B6 e ácido fólico; 50% da vitamina C e 10% da demanda de proteínas, além de 840 mg de potássio, uma das hortaliças mais rica neste nutriente (Pereira et. al., 2005; Pádua et al., 2009).

A batata, sendo originária das regiões frias de altitude dos Andes peruanos e bolivianos, requer clima ameno para que ocorra tuberação abundante que garanta adequadas produtividade e qualidade de tubérculos. Em regiões tropicais, Souza (2003) observou que, sob altas temperaturas em pós-emergência, as folhas são menores e mais numerosas, com formação de área foliar mais rápida do que em regiões frias. Entretanto, a longevidade das folhas é menor, as hastes são mais reduzidas e com formação de folhagem abaixo do suficiente para aproveitar a energia luminosa disponível para a produção de matéria seca. O crescimento das raízes é também mais reduzido, o que é uma desvantagem pela maior necessidade de absorção de água e nutrientes para possibilitar o metabolismo mais rápido da planta. Apesar de se produzir melhor em clima frio, com temperatura média inferior a 23 °C, é possível cultivar a batata em regiões de temperaturas mais elevadas; entretanto, é esperado um rendimento menor da cultura. Em condições experimentais tem-se conseguido até 30 t ha⁻¹ (Silva et al., 1993); sendo que em relação aos produtores têm-se verificado produções de 15 a 20 t ha⁻¹ (Silva et al., 1993; Pereira et al., 1993). Rendimentos de 17,8 t ha⁻¹ foram obtidos por Flori & Rezende (2000) com a cultivar Baraka, com plantio no mês de maio na região Nordeste do Brasil. Saliendo-se que todos estes trabalhos foram conduzidos em épocas mais frias destas regiões.

Existem muitos fatores em conjunto, os quais interagem entre si, influenciando a formação e crescimento dos tubérculos. Indiscutivelmente, as condições ambientais, e, sobretudo, a disponibilidade de nutrientes associada ao genótipo, tem conseqüências definitivas na qualidade final do produto. Porém, quanto melhor a condição para o crescimento da cultura, mais notório é o efeito do nitrogênio na mesma (Alonso, 1996).

Na região Sudeste do Brasil, distinguem-se três épocas de plantio: o plantio “das águas”, realizado de setembro a novembro, que é praticado em larga escala, nas regiões mais altas. A elevação da temperatura e o

alongamento do fotoperíodo durante o ciclo resultam em crescimento exagerado da parte aérea, o que provoca o acamamento da planta, tornando os folíolos menores e retardam a tuberização. Com colheita de dezembro a março, concentra 52 % da quantidade ofertada no ano (ABBA, 2009). A razão pela qual a safra das águas atinge maiores volumes deve-se ao regime de chuvas, favorecendo o plantio em praticamente todas as regiões do país. O regime chuvoso dispensa o uso da irrigação, que atualmente representa uma boa parcela do custo de produção e possibilita aos produtores com menor capacidade de investimento a participar deste cultivo.

O plantio “da seca”, realizado de fevereiro a abril, é praticado em altitudes medianas. A temperatura e o fotoperíodo diminuem ao longo do ciclo, o que estimula a tuberização e o crescimento dos tubérculos, sendo que a demanda de água pela cultura, às vezes, é complementada pela irrigação. Com colheita de abril a julho, responde por 30 % do volume total.

O plantio “de inverno”, realizado de maio a julho, é praticado em altitudes variadas, desde que livre de geadas. A temperatura e o fotoperíodo mantêm-se favoráveis ao longo do ciclo, principalmente pelas temperaturas noturnas mais baixas. Na época do inverno a cultura tem que ser irrigada, pois as chuvas são raras nesta estação na maior parte do Brasil. A colheita ocorre de agosto a novembro, em período seco com temperatura amena, favorecendo a pós-colheita dos tubérculos; participa com 18 % do abastecimento nacional (ABBA, 2009).

2.2. Nitrogênio na cultura da batata

O nitrogênio (N) é o segundo nutriente mais absorvido pela batateira e é um dos que mais limita a produtividade da cultura (Prezotti et al., 1986). Geralmente, o N representa de 10 a 40 g kg⁻¹ de massa seca dos tecidos vegetais, sendo componente de muitos compostos essenciais aos processos de crescimento vegetal como os aminoácidos e as proteínas. O N participa com quatro átomos na molécula de clorofila e é componente dos ácidos nucléicos que são indispensáveis não só como material de construção dos tecidos vegetais, mas também nos núcleos celulares e protoplasma em que se encontram os controles hereditários (Mengel & Kirkby, 2001).

Em batateira, o N influencia o desenvolvimento da parte aérea, a diferenciação e o crescimento dos tubérculos. O aumento da dose de N ocasiona aumento na produção de massa da matéria seca da planta (Meyer & Marcum, 1998; Goffart et al., 2008; Coelho et al., 2009). Entretanto, devem ser evitadas doses excessivas de N, principalmente as aplicadas tardiamente, que induziriam a planta a produzir folhas em demasia e a alongar o período de crescimento e maturação, o que implicaria na redução do período desejável de tuberização e conseqüente menor armazenagem de amido nos tubérculos, o que resultaria em menor produtividade (Fontes, 1987; Zvomuya et al., 2003). Além disso, o excesso de N interfere na qualidade dos tubérculos, pois reduz a gravidade específica e aumenta o teor de açúcares redutores dos mesmos, favorecendo o escurecimento e a maior retenção de gordura após o processo de fritura (Long et al., 2004; Braun et al., 2010).

A forma mais comumente utilizada para a absorção de N pela batateira é a aplicação de N via fertilizante mineral. No Brasil, é possível encontrar recomendações de fertilização variando de 60 a 250 kg ha⁻¹ de N (Fontes, 1999). Em trabalho realizado em quatro localidades do Canadá, por três anos consecutivos, as doses que proporcionaram as máximas produtividades variaram entre 158 e 233 kg ha⁻¹ de N. Para a máxima produção comercial, as melhores doses de N variaram entre 151 e 250 kg ha⁻¹ (Bélanger et al., 2000). Para Gil (2001) a dose de N em pré-plantio de 158 kg ha⁻¹ proporcionou a maior produção de tubérculos comerciais. Nos países da Europa e nos Estados Unidos, as doses de N recomendadas variam de 70 a 330 kg ha⁻¹, com ciclo de cultivo em torno de 5 meses (Kolbe & Beckmann, 1997) e no Canadá de 165 a 215 kg ha⁻¹ (Zebarth et al., 2004a).

Para avaliar o efeito do nitrogênio nas plantas ou a adequação do programa de adubação nitrogenada para a cultura, podem ser utilizadas técnicas de diagnóstico do estado nutricional da batateira, utilizando índices de nitrogênio determinados na planta. Os índices de nitrogênio mais comuns são: teor de N_{total} ou orgânico na matéria seca (MS) da folha ou parte da folha; teor de N-NO₃⁻ na seiva do pecíolo e índice SPAD. Esses índices são

interpretados utilizando-se o critério de concentração ou faixa crítica de concentração (Fontes, 2011).

As concentrações críticas de N- NO_3^- no pecíolo podem variar em função de fatores como cultivares, países ou regiões de um mesmo país onde a batata é cultivada, sendo o acúmulo de nitrato na matéria seca do pecíolo também influenciado pelo déficit de água. Nas cultivares Kennebec e Atlantic, aplicações de N, desde 0 até 360 kg ha⁻¹, resultaram em aumentos de 19 a 38 g kg⁻¹ no teor total de N na matéria seca do pecíolo das folhas mais jovens totalmente expandidas, as quais foram amostradas quando o comprimento dos tubérculos maiores variou de 10 a 15 mm. Nos locais que apresentaram deficiência de N, a concentração de N- NO_3^- na matéria seca dos pecíolos aumentou significativamente de 415 a 23.390 mg kg⁻¹, sendo que as concentrações de N- NO_3^- na matéria seca dos pecíolos das folhas mais jovens totalmente expandidas, requeridas para obter a máxima produção de tubérculos, foram de 23,4 a 26,5 g kg⁻¹ (Maier et al., 1994).

2.3. Eficiência do uso do N

O fertilizante nitrogenado representa elevada proporção dos custos com fertilizantes empregados na cultura da batata, além de representar significativa proporção do gasto energético agrícola, estimado em 39 % de toda a energia empregada na produção agrícola de batata (Hamedani et al., 2011).

Nas últimas décadas, os esforços têm sido direcionados no sentido de otimizar a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, visando reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais e aumentar o rendimento das culturas (Zebarth et al., 2009). Do total do N aplicado no solo, apenas cerca de 40 a 60% é aproveitado pela planta de batata, sendo que uma grande porcentagem do N residual é incorporado à matéria orgânica do solo, representando potencial risco de ser lixiviado para o lençol freático (Zebarth et al., 2004b; Goffart et al., 2008). Essas perdas podem agravar-se, principalmente, em região onde ocorre elevado índice pluviométrico, pois a batata apresenta um sistema radicular raso e pouco

desenvolvido quando comparado com outras culturas como milho, trigo e beterraba (Heckman, 2002). Nessa situação, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também, para aumentar a produtividade das culturas e diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental. A eficiência de recuperação de N pode ser aumentada com a adoção de práticas de manejo apropriadas, como o uso de dose adequada e aplicação na época apropriada, de acordo com resultados de pesquisa e com a necessidade da cultura (Fageria et al., 2005).

De acordo com Malavolta & Neptune (1983), há três formas de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados: a agrícola, por meio da localização do adubo, parcelamento, época de aplicação, calagem, controle das transformações e aplicação de sais de cálcio e magnésio; a tecnológica, pelo controle da disponibilidade; e a genética, por meio da seleção de espécies e cultivares com diferentes capacidades quanto à eficiência na absorção e utilização de N. Maidl et al. (2002) avaliaram o efeito do parcelamento da adubação nitrogenada na utilização de N em batateira adubada com ^{15}N ($^{15}\text{NH}_4$ $^{15}\text{NO}_3$) em dois anos agrícolas e verificaram que a recuperação do N do fertilizante foi de 29,8 % e 36,2 % quando aplicado todo no plantio e de 36,2 % e 58,4 % quando parcelado em três doses.

A eficiência de utilização do N representa a habilidade da planta em transformar o N absorvido em produção (Delogu et al., 1998), isto é, kg de tubérculo para cada kg de N acumulado na planta. No entanto, existem na literatura, vários componentes para definir a eficiência nutricional, como: eficiência de absorção, de utilização, agronômica, fisiológica e de recuperação do nutriente (Gourley et al., 1994; Fageria, 1998). Independentemente da terminologia utilizada para se definir a eficiência do uso do N, não se deve priorizar alta eficiência em detrimento da produtividade. Sabe-se, pela lei dos rendimentos decrescentes, que com o aumento da dose de N, os aumentos na produtividade são menores, e, portanto, menores as eficiências obtidas. Elevada eficiência no uso do N é importante para os cultivos, sendo alcançada com o manejo correto da adubação nitrogenada. O procedimento de recomendação da dose de N a ser aplicada é importante, podendo-se aplicar o fertilizante de maneira fracionada, em

pré-plantio e em cobertura, concomitantemente com a demanda da planta (Binder et al., 2000). Dessa forma, permite a redução da dose do fertilizante para uma quantidade que propicie ótima produtividade (Fernández et al., 1998).

Variações genotípicas na eficiência do uso do N (EUN) têm sido verificadas em algumas espécies, incluindo trigo (Baresel et al., 2008), milho (Valero et al., 2005), cevada (Beatty et al., 2010) e arroz (Duan et al., 2007). Mesmo que diferentes espécies vegetais apresentem capacidade similar na absorção de um determinado nutriente, pode ocorrer grande diferença entre elas na produção de biomassa, resultante de diferenças na eficiência de utilização desses elementos (Furlani et al., 1986).

No caso específico da batateira, têm sido verificadas diferenças entre cultivares e entre acessos silvestres de batata na EUN (Errebhi et al., 1998; Zvomuya et al., 2002; Zebarth et al., 2008). Zebarth et al. (2004a) avaliaram 20 cultivares de batata originárias da América do Norte e Europa e verificaram comportamento diferencial entre elas, sendo que as cultivares de ciclo precoce apresentaram menor EUN quando comparadas com as de ciclo médio e longo. Segundo esses autores, há uma maior variação entre cultivares em termos de capacidade de absorção de N (acumulação de N pela planta em presença de abundante quantidade do elemento) do que em termos de eficiência de absorção de N (teor de N na planta por quantidade de N aplicado). Entretanto, Kleinkopf et al. (1981) encontraram diferença significativa na eficiência de absorção de N entre seis cultivares de batata, onde a cultivar mais eficiente utilizou entre 70 a 100% do total de N disponível para se obter alta produção.

A capacidade de absorção de nutrientes do solo pelas plantas depende da magnitude e da morfologia do seu sistema radicular e da eficiência na absorção desses elementos (Anguioni et al., 1989). Sattelmacher et al. (1990a) atribuíram a variação encontrada na eficiência de absorção entre duas cultivares de batata a diferenças em seus sistemas radiculares. Os clones atuais de batata geralmente apresentam massa seca de raiz similar aos clones nativos cultivados na região dos Andes, porém possuem maior produção de tubérculos por massa seca de raiz (Sattelmacher et al., 1990b).

Normalmente, com o aumento das doses de N aplicadas ocorre decréscimo no seu aproveitamento, em função da disponibilidade de N ultrapassar a necessidade da cultura. Trabalhos desta natureza foram realizados na cultura da batata por Vos (1997) e Maidl et al. (2002). Fernandes et al. (1991) constataram que a eficiência de utilização do nitrogênio pelas plantas de sorgo em solução nutritiva caiu de 86 %, quando foi oferecido 30 mg de N por L de solução, para 38 % (2,2 vezes menos) quando se elevou o nível de N para 240 mg de N por L de solução. Zebarth et al. (2004b) verificaram que a EUN diminuiu de forma quadrática com o aumento da dose de N aplicada na cultivar de batata Russet Burbank. Esse decréscimo deve-se às perdas de amônia, que aumentam com a dose de aplicação, e tal aumento pode ser linear ou exponencial (Fageria et al., 2005). Enquanto que para Gil (2001), o decréscimo da EUN está associado à saturação dos carregadores, já que a absorção do N é ativa. Um deles é o HATS (“high affinity transport system”) o qual é ativado nos casos de baixa concentração de N- NO_2^- no solo, sendo altamente eficiente; o outro é o LATS (“light affinity transport system”) que funciona quando existem altas concentrações de N- NO_3^- no solo (Von Wirén et al., 1997).

2.4. Ferramentas para avaliar o estado de N em tempo real

Tradicionalmente, os métodos utilizados para determinação do teor de clorofila requerem destruição das folhas, extração via maceração com acetona e leitura em espectrofotômetro, o que é uma desvantagem, além de serem muito demorados e onerosos. É verificado, em algumas culturas, que a concentração de clorofila ou o esverdeamento das folhas se correlaciona positivamente com a concentração foliar de nitrogênio, uma vez que 70% do N contido nas folhas estão nos cloroplastos, participando da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (Wood et al., 1993), e com a produção da massa de matéria seca da planta (Blackmer & Scheppers, 1995; Gil et al., 2002; Ferreira et al., 2006). Além disso, estudos têm mostrado que o teor de N na folha correlaciona-se positivamente com a taxa fotossintética da planta, sendo a clorofila envolvida diretamente no processo de fotossíntese (Vouillot et al., 1998; Taiz & Zeiger, 2009). Em plantas C3, foi determinado a

proporcionalidade entre o N dos tilacóides e o conteúdo de clorofila, sendo estabelecido uma relação de 50 M de N no tilacóide para 1 M de clorofila (Evans, 1989).

No entanto, a possibilidade de se utilizar um índice da planta, baseado na intensidade do verde da folha, como indicador da adequação da dose do fertilizante nitrogenado não tem sido devidamente explorada, pois os métodos tradicionais de avaliação do estado nutricional são demorados e onerosos. Normalmente, a dose de N ainda tem sido estabelecida através de curvas de resposta obtidas no campo, ao contrário dos demais macronutrientes, cuja limitação pode ser prevista pela análise do solo (Coelho & Fontes, 2005).

A avaliação do verde da folha de forma rápida e com baixo custo tornou-se mais fácil com os recentes avanços e aperfeiçoamento dos medidores portáteis (Blackmer & Schepers, 1995; Guimarães et al., 1999), possibilitando a sua utilização como critério de avaliação do estado de N das plantas. Um destes medidores portáteis é o SPAD- 502 (*Soil Plant Analysis Development*) ou clorofilômetro, que apresenta facilidade de operação, permite avaliações *in situ* e que pode assim ser utilizado como ferramenta auxiliar na tomada de decisão sobre a adubação nitrogenada. O instrumento SPAD-502 avalia, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, onde não ocorre absorção. Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha (Markwell et al., 1995; Guimarães et al., 1999) e pode identificar deficiência de N, além de ter potencial de identificar situações onde a aplicação adicional de N não seja necessária. No caso da cultura da batata, vários autores verificaram uma alta correlação das leituras do clorofilômetro SPAD com as determinações analíticas de clorofila e da concentração de N nas folhas (Vos e Bom, 1993; Gil et al., 2002; Gianquito et al, 2003; Rodrigues et al., 2004; Busato et al., 2007; Coelho et al., 2010).

O colorímetro Minolta CR (séries 100, 200 300 e 400) também pode ser utilizado para a avaliação não destrutiva da coloração de tecidos vegetais, como ocorre em frutos (Amarante et al., 2007). Este equipamento

tem sensibilidade similar a do olho humano, com a vantagem de produzir a mesma leitura, independente da condição de iluminação do ambiente, já que utiliza uma fonte interna de luz e um sistema de compensação de leitura, constituído de dois sensores internos, um que mede a luz refletida da superfície do tecido vegetal e outro sensor que mede a luz da fonte de iluminação. A fonte de luz do equipamento gera radiação difusa (com diferentes ângulos de incidência) e o sensor interno recebe a luz refletida verticalmente pela superfície do tecido no espaço de cores L, C e °h (McGuire, 1992). Os termos L, C e °h indicam brilho ('lightness'), cromaticidade e ângulo hue, respectivamente. Os valores de °h apresentam as seguintes correspondências quanto às cores da superfície do tecido vegetal: 0°/vermelho, 90°/amarelo, 180°/verde e 270°/azul. Portanto, o valor de °h do equipamento permite quantificar o teor de clorofilas em folhas, onde folha verde intensa, com elevado teor de clorofila, apresentando °h próximo de 180°, e folha clorótica, com baixo teor de clorofila, apresentando °h próximos de 90° (Amarante et al., 2008). Porém, este equipamento ainda foi pouco explorado quanto à sua viabilidade de utilização na quantificação não destrutiva do verde das folhas.

Recentemente, foi colocado no mercado o Dualex[®] (FORCE-A, Orsay, France), um equipamento portátil para estimar em tempo real e de forma não destrutiva os índices isolados e combinados de clorofila e de flavonóis na folha (Fontes, 2011). O Dualex fornece no visor, em uma única medição na folha, três índices: clorofila (Chl), flavonóis (Flv) e IBN (Índice de balanço do nitrogênio), que é obtido pela relação entre os índices Chl e Flv. Os compostos fenólicos na camada epidérmica são produzidos pelo metabolismo secundário das plantas e estão correlacionados com fatores de estresse, como a disponibilidade de N (Cerovic et al., 1999). O DUALEX (dual excitation) fornece informação do teor de polifenóis da cultura através da medição da absorção do ultra-violeta (UV) da epiderme da folha pela excitação dupla da fluorescência da clorofila, para isso, o aparelho emite um feixe de luz de comprimento de onda a 375 nm (absorvido pelos polifenóis) e outro feixe de referência a 650 nm (região do vermelho), que penetra na epiderme da folha (Goulas et al., 2004; Cartelat et al., 2005). Dependendo da espécie e de apropriada calibração, a concentração de N na folha pode

ser estimada indiretamente com o equipamento, pois há correlação negativa entre os teores de compostos fenólicos e de N na folha e correlação positiva deste com os teores de clorofilas e com o IBN. A partir da comercialização, alguns autores têm utilizado o Dualex para estimar a concentração de N na folha de algumas espécies (Tremblay et al., 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA – Associação Brasileira da Batata. A oferta de batata no Brasil, 2009. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/revista11_020.htm>. Acesso em: 28/06/2011.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. 16. ed. FNP Consultoria & Agroinformativos, 2011. 516 p.

ALONSO, F. **El cultivo da patata**. Barcelona: Ediciones Mundi Prensa, 1996. 272 p.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; MOTA, C.S.; SANTOS, H.P. Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras 'Royal Gala' cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 925-931, 2007.

AMARANTE, C.V.T.; BISOGNIN, D.A.; STEFFENS, C.A.; ZANARDI, O.Z.; ALVES, E.R. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 471-475, 2008.

ANGUINONI, I.; VOLKART, K.; FATTORE, C.; ERNANI, P.R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 13, p. 355-361, 1989.

BARESEL, J.P.; ZIMMERMANN, G.; REENTS, H.J. Effects of genotype and environment on N uptake and N partition in organically grown winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Germany. **Euphytica**, v. 163, n. 3, p. 347-354, 2008.

BEATTY, P.H.; ANBESSA, Y.; JUSKIW, P.; CARROLL, R.T.; JUAN, W.; ALLEN, G.G. Nitrogen use efficiencies of spring barley grown under varying nitrogen conditions in the field and growth chamber. **Annals of Botany**, 105, n. 7, p. 1171-1182, 2010.

BÉLANGER, G.; WALSH, J. R.; RICHARDS, J. E.; MILBURN, P. H.; ZIADI, N. Yield response of two potato cultivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick. **American Journal of Potato Research**, v. 77, p. 11-21, 2000.

BINDER, D. L.; SANDER, D. H.; WALTERS, D. T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1228-1236, 2000.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal Production Agriculture**, v. 8, p. 56-60, 1995.

BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 285-293, mar./abr., 2010.

BUSATO, C.; FONTE, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Evolução do índice SPAD em folhas de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p.s124-s124, 2007.

CARTELAT, A.; CEROVIC, Z.G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; LELARGE, C.; PRIOUL, J.L.; BARBOTTIN, A.; JEUFFROY, M.H.; GATE, P.; AGATI, G.; MOYA, I. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, v. 91, p. 35-49, 2005.

CEROVIC, Z.G.; SAMSON, G.; MORALES, F.; TREMBLAY, N.; MOYA, I. Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: Present state and prospects. **Agronomie**, v. 19, p. 543-578, 1999.

COELHO, E.L.; FONTES, P.C.R. Índices agrônômicos do meloeiro associado à dose adequada de nitrogênio, em ambiente protegido e no campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 979-979, 2005.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L.; SILVA, M.C.C.; BRAUN, H. Área foliar e massa seca de cultivares de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. S774-S778, 2009. (suplemento CD)

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

DELOGU, G.; CATTIVELLI, L.; PECCHIONI, N.; DE FALCIS, D. ; MAGGIORE, T. ; STANCA, A. M. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 9, p. 11-20, 1998.

DUAN, Y.H.; ZHANG, Y.L.; YE, L.T.; FAN, X.R.; XU, G.H.; SHEN, Q.R. Responses of rice cultivars with different nitrogen use efficiency to partial nitrate nutrition. **Annals of Botany**, v. 99, n. 6, p. 1153-1160, 2007.

ERREBHI, M.; ROSEN, C. J.; LAUER, F. I.; MARTIN, M. W.; BAMBERG, J. B.; BIRONG, D. E. Screening of exotic potato germplasm for nitrogen uptake and biomass production. **American Journal of Potato Research**, v. 75, p. 93-100, 1998.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**, v. 78, p. 9-19, 1989.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97-185, 2005.

FERNÁNDEZ, J. E.; MURILO, J. M.; MORENO, F.; CABRERA, F.; FERNANDÉZ-BOY, E. Reducing fertilization for maize in southwest Spain. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, p. 2829-2840, 1998.

FERNANDES, V. L. B.; NUNES, L. A. P.; FILHO, M. M.; SOUSA, V. L de; FERNANDES, N. B. Absorção e utilização de nitrogênio em planta de sorgo cultivado em solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 22, p. 89-96, jul./dez. 1991.

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 53, p. 83-92, 2006.

FONTES, P. C. R. Nutrição mineral e adubação. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (coord.). **Produção de Batata**. Brasília - DF: Linha Gráfica e Editora, 1987. p. 40-56.

FONTES, P.C.R. Calagem e Adubação da Batata. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 197, p. 42-52, 1999.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122 p.

FONTES, P.C.R. Cultura da Batata. In: FONTES, P.C.R. (ed.). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2005. p. 323-343.

FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. de. Use of chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. **Journal of Applied Horticulturae**, v. 8., n. 1, p. 8-11, 2006.

FONTES, P.C.R.; ARAÚJO, C. de. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: UFV, 2007. 148 p.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa, MG: Arka Editora, 2011. 296p.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; AZZINI, L. E. Variabilidade entre linhagens de arroz na absorção e utilização de potássio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 135-141, 1986.

GIANQUINTO, G.; SAMBO, P.; BONA, S. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: A methodological Approach. **Acta Horticulturae**, v. 607, p. 197-204, 2003.

GIL, P. T. **Índices e eficiência de utilização de nitrogênio pela batata influenciados por doses de nitrogênio em pré-plantio e em cobertura**. 2001. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GOFFART, J.P.; OLIVIER, M.; FRANKINET, M. Potato crop nitrogen status assessment to improve n fertilization management and efficiency: past–present–future. **Potato Research**, v. 51, p. 355-383, 2008.

GOULAS, Y.; CEROVIC, Z.G.; CARTELAT, A.; MOYA, I. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. **Applied Optics**, v. 43, p. 4488-4496, 2004.

GOURLEY, C.J.P.; ALLAN, D.L.; RUSSELE, M.P. Plant nutrition efficiency: a comparison of definitions and suggests improvement. **Plant and Soil**, v. 158, p. 29-37, 1994.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HAMEDANI, S.R.; SHABANI, Z.; RAFIEE, S. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. **Energy**, v. 36, p. 2367-2371, 2011.

HECKMAN, J.R. In-season soil nitrate testing as a guide to nitrogen management for annual crops. *HortTechnology*, v. 12, n. 4, p. 706-710, 2002.

KLEINKOPF, G. E.; WESTERMANN, D. T.; DWELLE, R. B. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. **Agronomy Journal**, v. 73, p. 799-802, 1981.

LONG, C.M.; SNAPP, S.S.; DOUCHES, D.S.; CHASE, R.W. Tuber yield, storability and quality of Michigan cultivars in response to nitrogen management and seedpiece spacing. **American Journal of Potato Research**, v. 81, p. 347-357, 2004.

LOVE, S.L.; STARK, J.C.; GUENTHNER, F. The origin of potato production systems. In: STARK, J.C.; LOVE, S.L. (eds). **Potato production system**. Moscow: University of Idaho, 2003. p.1-8.

McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MACKERRON, D.K.L. (ed.). **Management of nitrogen and water in potato production**. Wageningen: Wageningen Pers, 2000. p. 103–110.

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

MAIER, N.A.; DAHLENBURG, A.P.; WILLIAMS, M.J. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on yield, specific gravity, crisp colour and tuber chemical composition of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kennebec. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 34, p. 813-824, 1994.

MAJIC, A.; POLJAK, M.; SABLJO, A.; SEFO, E.; KNEZOVIC, Z. Nitrate-nitrogen rates in petiole sap of potato crop (*Solanum tuberosum*). **Acta Horticulturae**, v. 846, p. 333-338, 2009.

MAKINO, A.; NAKANO, H.; MAE, T. Responses of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase, cytochrome f, and sucrose synthesis enzymes in rice leaves to

leaf nitrogen and their relationships to photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 105, p. 173-179, 1994.

MALAVOLTA, E.; NEPTUNE, A. M. L. Características e eficiência dos adubos nitrogenados. In: CAMARGO, O. A. de (ed.). **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas: SBCS, 1983. p. 4-14.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J.C.; MITCHELL, J.L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v. 46, p. 467-472, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

MEYER, R. D.; MARCUM, D. B. Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 31, p. 420-429, 1998.

OLIVIER, M.; GOFFART, J.P. Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 496-506, 2006.

PÁDUA, J.G. de.; MESQUITA, H.A. de.; SOUZA, J.C. de.; SILVA, R.A. Cultura da batata: tecnologia e perspectivas. **Informe Agropecuário**, v. 30, p. 35-43, 2009.

PEREIRA, E.M.S.; LUZ, J.M.Q.; MOURA, C.C. **A batata e seus benefícios**. Uberlândia: EUDUFU, 2005. 58 p.

PEREIRA, A.S. Batata: fonte de alimento para a humanidade. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n.1, capa, jan./mar. 2008.

PREZOTTI, L. C.; CARMO, C. A. S. do; ANDRADE NETO, A. P. M. de. **Nutrição mineral da batata**. Vitória-ES: EMCAPA, 1986. 44 p.

RODRIGUES, M.A. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n.13/14, p. 2067-2085, 2004.

SATTELMACHER, B.; KLOTZ, F.; MARSHNER, H. Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. **Plant and Soil**, v. 123, p. 131-137, 1990a.

SATTELMACHER, B.; KUENE, R.; MALAGAMBA, P.; MORENO, U. Evaluation of tuber bearing Solanum species belonging to different ploidy

levels for its yielding potential at low soil fertility. **Plant and Soil**, v. 129, p. 227-233, 1990b.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R. Proposição de uma tabela de cor (UFV 80-Monalisa) para a avaliação do estado de nitrogênio da batateira. **Revista Batata Show**. Ano 6, n. 16, 2006.

SOUZA, Z.S. Ecofisiologia. In: Pereira, A.S.; Daniels, J. (eds). **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 80-104.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 848p.

TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BELEC, C. Performance of Dualex in spring wheat for crop nitrogen status assessment, yield prediction and estimation of soil nitrate content. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n.1, p. 57-70, 2010.

VALERO, J.A.J.; MATURANO, M.; ARTIGAO RAMÍREZ, A.; TARJUELO, J.M.M.; ORTEGA ÁLVAREZ, J.F. Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 1, p. 134-144, 2005.

VON WIRÉN, N. V.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W. B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, v. 196, p. 191-199, 1997.

VOS, J.; BOM, M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. **Potato Research**, v. 36, p. 301-308, 1993.

VOS, J. The nitrogen response of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. **Potato Research**, v. 40, p. 237-248, 1997.

VOUILLOT, M.O.; HUET, P.; BOISSARD, P. Early detection of N deficiency in wheat crop using physiological and radiometric methods. **Agronomie**, v. 18, p. 117-130, 1998.

WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.J. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: a review. **Proceedings Agronomy Society of New Zealand**, v. 23, p. 1-9, 1993.

ZEBARTH, B. J.; TAI, G.; TARN, R.; JONG, H. de.; MILBURN, P. H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 589-598, 2004a.

ZEBARTH, B. J.; LECLERC, Y.; MOREAU, G. Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: nitrogen use efficiency. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 84, p. 845-854, 2004b.

ZEBARTH, B.J.; TAM, T.R.; JONG, H. de; MURPHY, A. Nitrogen use efficiency characteristics of andigena and diploid potato selections. **Americal Journal of Potato Research**, v. 85, n. 3, p. 210-218, 2008.

ZEBARTH, B.J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, n. 2, p. 113-132, 2009.

ZVOMUYA, F.; ROSEN, C.J. Biomass partitioning and nitrogen use efficiency of 'Superior' potato following genetic transformation for resistance to Colorado potato beetle. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 4, p. 703-709, 2002.

ZVOMUYA, F.; ROSEN, C.J., RUSSELLE, M.P., GUPTA, S.C. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea of potato. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 480-489, 2003.

CAPÍTULO 1

Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e nível crítico de índices do estado de nitrogênio na folha

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, diferentemente do que ocorre nos países do Hemisfério Norte, têm-se a possibilidade de produção de batata *in natura* durante todo o ano, nas safras denominadas de seca, águas e inverno. Nestas safras, as diferenças de fotoperíodo, temperaturas, radiação e precipitação influenciam diretamente a fisiologia da parte aérea das plantas de batata e, portanto, afetam o metabolismo dos tubérculos, podendo, de acordo com as características de cada época, limitar o potencial produtivo e qualidade dos tubérculos.

O nitrogênio (N) é elemento essencial para o crescimento das plantas de batata, e muitas vezes, é o elemento que mais limita a produtividade da cultura. Com a elevação no custo dos fertilizantes nitrogenados, os agricultores necessitam adequar o manejo da adubação. A aplicação de dose muito baixa ou demasiadamente elevada reduzirá os lucros. Assim, a taxa mais rentável de aplicação de N deve ser ajustada aos preços da batata e do fertilizante, com a finalidade de otimizar o uso de insumos e de minimizar os riscos com a produção e comercialização (Coelho et al., 2010).

Para obtenção de elevada produtividade, as plantas de batata requerem níveis ótimos de N ao longo do ciclo de desenvolvimento. A taxa de absorção de N pela batateira é lenta durante o início de crescimento, aumentando rapidamente durante o período de tuberização, quando atinge o máximo, e decresce por ocasião do período de senescência da parte aérea (Nunes et al., 2006). A dose do adubo nitrogenado a ser fornecida no decorrer do ciclo de produção das culturas deve ser determinada considerando-se critérios de produtividade e sustentabilidade da produção, pois os resíduos não absorvidos pelas plantas apresentam risco de poluição ambiental. Para tal, é necessário dispor de adequados métodos de avaliação e diagnóstico do estado nutricional da planta nas diferentes fases do crescimento e desenvolvimento da cultura.

Para avaliar o estado de N nas plantas ou a adequação do programa de adubação da cultura são utilizadas técnicas de diagnóstico do estado nutricional, incluindo a avaliação de índices de N na planta. Os mais comuns índices são o teor de N na matéria seca da folha ou parte da folha, a quantidade de N acumulada e a intensidade da cor verde da folha (Fontes & Araújo, 2007). Normalmente, esses índices são interpretados utilizando-se o critério de concentração ou faixa crítica de concentração (Fontes, 2011).

A cor verde da planta está diretamente associada com o teor de clorofila foliar e este altamente relacionado com o teor de N. Os pigmentos fotossintéticos (clorofilas a, b e total e carotenóides) são essenciais para o desenvolvimento das plantas, pois são responsáveis pela captura da energia solar usada na fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2009). Assim, plantas cultivadas com quantidade inadequada de N normalmente não expressam todo o seu potencial produtivo, visto que, sob estresse nitrogenado pode ocorrer redução significativa na taxa assimilatória líquida de CO₂.

A determinação da clorofila é tradicionalmente realizada pela extração dos solutos foliares e posterior determinação espectrofotométrica, utilizando comprimentos de onda na região do vermelho do espectro de luz visível. No entanto, com a expansão da utilização da agricultura de precisão, ferramentas que permitem sensoriar em tempo real o estado de N na planta de forma rápida e barata têm sido propostas (Fontes, 2011). Um destes medidores portáteis é o SPAD-502, que vem sendo largamente pesquisado

e utilizado com sucesso em feijão (Madeira et al., 2000), milho (Zotarelli et al., 2003), algodão-herbáceo (Neves et al., 2005), amendoim (Samdur et al., 2000) e melão (Azia & Stewart, 2001) como indicador indireto do estado de N da planta. No entanto, alguns trabalhos têm apresentado evidências da limitação do uso do clorofilômetro (Hawkins et al., 2009), sendo verificado que as relações matemáticas entre o índice SPAD e o teor de clorofila extraível e/ou o teor de N foliar podem variar com o estágio de crescimento da planta (Chapman & Barreto, 1997), condições ambientais (Silva et al., 2011), período vegetativo (Bullock & Anderson, 1998) e genótipo (Busato et al., 2010).

Alternativamente, o teor de clorofila pode ser determinado por colorímetro portátil, como o Minolta CR o qual mede a reflexão da luz, diferentemente do clorofilômetro SPAD-502, que mede, em condições de campo, a transmitância da luz. Este aparelho vem sendo utilizado, principalmente, para a avaliação não destrutiva da coloração de tecidos de frutos vegetais durante o amadurecimento. O colorímetro foi usado para estimar o teor de clorofila em folha de batata e couve (Amarante et al., 2008), pimentão (Madeira et al., 2003) e alface americana (Leon et al., 2007).

Além das características de refletância e transmitância da luz pelo dossel, pode ser usada a emissão da fluorescência pela clorofila na região do ultravioleta para a avaliação do estado de N da planta (Cerovic et al., 2002; Bélanger et al., 2006). Com base nesta propriedade, foi colocado no mercado o Dualex[®] (FORCE-A, Orsay, France).

O Dualex é um equipamento portátil destinado a estimar em tempo real e de forma não destrutiva os índices isolados e combinados de clorofila e de flavonóis na folha (Fontes, 2011). O Dualex fornece no visor, em uma única medição na folha, três índices: clorofila (Chl), flavonóis (Flv) e IBN (Índice de balanço do nitrogênio). O IBN é obtido pela relação entre os índices Chl e Flv. Essa relação corresponde à proporção relativa de carbono das folhas investido em clorofila e polifenóis (Demotes-Mainardi et al., 2008). Os polifenóis (flavonóides, taninos hidrolizáveis e sideroxytonais) na camada epidérmica são produzidos pelo metabolismo secundário das plantas e estão correlacionados com fatores de estresse, como a disponibilidade de N

(Cerovic et al., 1999). Ainda não há relatos de utilização do Dualix nas condições brasileiras para estimar o teor de N na cultura da batata.

Assim, objetivou-se com este trabalho determinar, em duas épocas contrastantes de plantio da cultivar de batata Ágata:

a) a dose ótima de N para a máxima produtividade física e econômica de tubérculos;

b) verificar o efeito de doses de N sobre índices de N na folha;

c) correlacionar os valores dos índices com o número e a produtividade de tubérculos;

d) estimar o nível crítico dos índices de N na folha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização das áreas experimentais

Foram conduzidos dois experimentos na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O experimento 1 foi conduzido no período de inverno (“safra de inverno”), de 27 de maio a 04 de setembro de 2010. O experimento 2 foi conduzido no período chuvoso (“safra das águas”), no período de 10 de novembro de 2010 a 11 de fevereiro de 2011, em área contígua àquela utilizada no experimento 1.

O município de Viçosa apresenta altitude de 693 m, latitude sul 20° 45', longitude oeste 42° 51' e classificação climática de Koeppen (1948) do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Os dados climáticos foram coletados diariamente na estação meteorológica da UFV, localizada a 3 km da área experimental (Figuras 1 e 2).

O solo, onde foram instalados os experimentos, foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico (Embrapa, 1999) e, anteriormente à instalação dos experimentos, coletaram-se amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade para a determinação de características químicas e físicas (Tabelas 1).

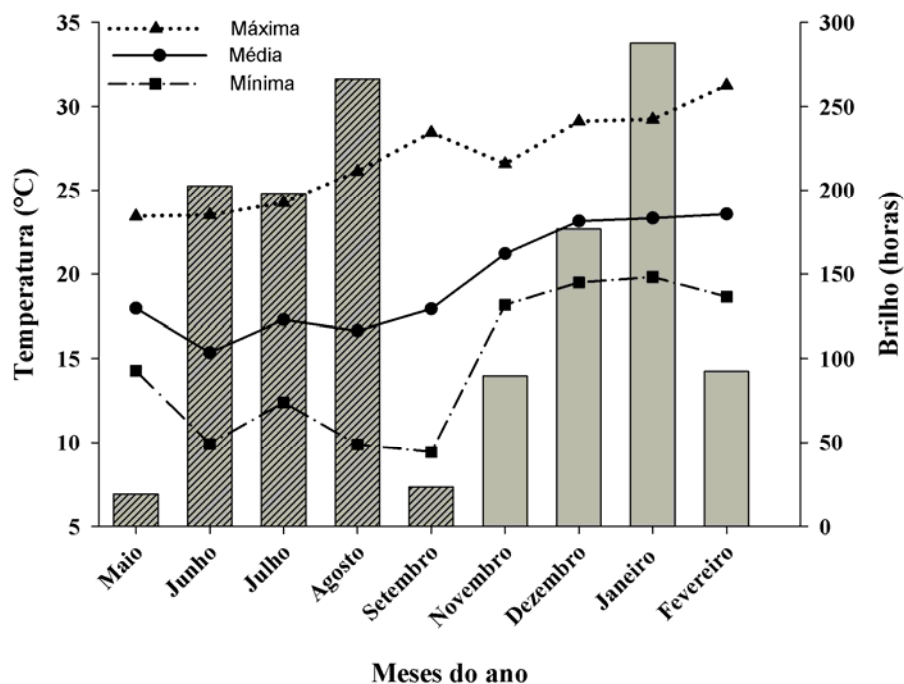


Figura 1. Brilho acumulado e médias das temperaturas máxima, mínima e média durante o período experimental das safras “de inverno” (maio a setembro de 2010) e “das águas” (novembro de 2010 a fevereiro de 2011). Viçosa-MG.

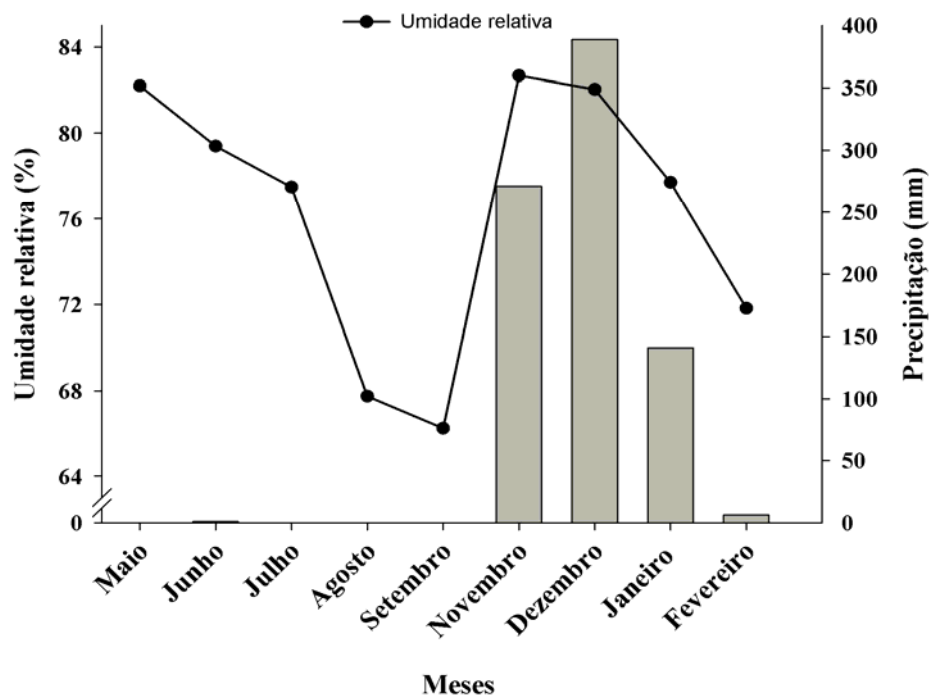


Figura 2. Precipitação acumulada e umidade relativa média do ar durante o período experimental das safras “de inverno” (maio a setembro de 2010) e “das águas” (novembro de 2010 a fevereiro de 2011). Viçosa-MG.

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo nas camadas 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos, nas safras “de inverno” e “das águas”.

Caractérisicas químicas	Safras	
	“de inverno”	“das águas”
pH em água – 1:2,5	5,2	6,3
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ¹	1,4	1,4
P disponível (mg dm ⁻³) ²	2,8	4,4
K disponível (mg dm ⁻³) ²	13	39
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	0,1	0,6
Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	0,1	0,2
Acidez trocável - Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³) ³	0,5	0,0
Acidez potencial – H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁴	3,3	3,3
Soma de bases – SB (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,9
CTC efetiva – t (cmol _c dm ⁻³)	0,7	0,9
CTC a pH 7 – T (cmol _c dm ⁻³)	3,5	4,2
Saturação por bases – V (%)	7	21
Características físicas ⁵		
Areia (dag g ⁻¹)	-----	35 -----
Silte (dag g ⁻¹)	-----	14 -----
Argila (dag g ⁻¹)	-----	51 -----
Classificação textural	-----	Argiloso -----

¹ Matéria orgânica = carbono orgânico x 1,724 (WALKLEY e BLACK, 1934).

² Extrator Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

³ Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

⁴ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

⁵ Método da pipeta, dispersão NaOH 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1999).

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, sendo os tratamentos constituídos de 5 doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco, em pré-plantio, com 4 repetições. Como fonte de N foi utilizada a uréia (44% de N).

Cada parcela foi constituída de duas fileiras com doze plantas cada, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, com dimensões

de 3,0 m de comprimento e 1,0 m de largura. Consideraram-se como bordaduras as duas plantas das extremidades das fileiras, restando 20 plantas úteis por parcela.

2.3. Instalação e condução dos experimentos – parte de campo

Aos 45 dias antes da instalação dos experimentos foi realizada a calagem com o objetivo de elevar a saturação por bases para 60 %. Para isso, aplicou-se 2,5 e 2,4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 76 % nos experimentos “de inverno” e “das águas”, respectivamente. A adubação, feita manualmente no sulco de plantio, consistiu de 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18 % de P₂O₅), 384 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60 % de K₂O), 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (10 % de Mg), 10 kg ha⁻¹ de bórax (10 % de B), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco (20 % de Zn), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (24 % de Cu) e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39 % de Mo). A uréia e os demais adubos foram aplicados no sulco e misturados, sendo feito o plantio logo em seguida. Além disso, foi feita a aplicação do inseticida Carbofuran.

A cultivar utilizada foi a Ágata, de origem holandesa, que é descrita como tendo hastes finas a moderadamente finas, ciclo precoce a muito precoce, folhas moderadamente grandes com folíolos largos e de cor verde intensamente clara; possui tubérculos ovais, casca amarela e predominantemente lisa, polpa de cor amarelo-clara e gemas superficiais, com aptidão culinária para cozinhar ou assar (ABBA, 2011). Devido ao alto potencial produtivo e precocidade, a Ágata é atualmente a principal cultivar plantada no Brasil.

O plantio foi realizado utilizando-se tubérculos de batata-semente certificada, com massa média de 70 g, previamente brotado, com broto de aproximadamente 3 cm. Não houve tratamento para quebra de dormência dos tubérculos. A amonta foi realizada aos 22 dias após a emergência das plantas.

A cultura foi conduzida segundo as recomendações de manejo descritas por Fontes (2005) com controle fitossanitário através de defensivos químicos com os ingredientes ativos Carbofuran, Deltametrina, Metamidofós,

Cimoxanil, Mancozeb e Oxicloreto de Cobre. As irrigações foram por aspersão convencional, no período da manhã, com uma lâmina de água estabelecida a partir da estimativa da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultura (K_c). A estimativa de evapotranspiração de referência foi realizada pelo método de Penman-Monteith, proposto pela FAO (Allen, 1993), mantendo-se o solo com umidade próxima à capacidade de campo. A água utilizada na irrigação possuía $0,48 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NO_3^- e $0,14 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NH_4^+ .

2.4. Características avaliadas

2.4.1. Medições ópticas de clorofila (CHL) e flavonóis (FLV) da folha

Aos 21 e 42 dias após a emergência (DAE), três plantas foram amostradas aleatoriamente para a realização das leituras com o medidor portátil SPAD-502 (*Soil-Plant Analysis Development-502*). A medição foi feita no folíolo terminal da quarta folha completamente expandida a partir do ápice da planta (QF), entre 8:00 e 11:00 horas da manhã. Nestas mesmas folhas foram realizadas as leituras com o Dualex[®] (Force-A, Orsay, France), obtendo-se os índice de flavonóis (IFLV), índice de clorofila (ICHL) e o índice balanceado de N (IBN), sendo este último, calculado pela divisão entre o ICHL/IFLV.

Posteriormente, as mesmas folhas foram destacadas da planta e levadas para o laboratório para a realização das leituras com o colorímetro portátil Colortec-PCM (Konica Minolta, Japão). O colorímetro foi utilizado com ponteira de vidro côncava para a quantificação da cor no espaço de cores L, C e °h (McGuire, 1992). Para isso, as folhas foram colocadas sobre superfície branca (folha de papel branco) para evitar qualquer interferência da cor desta superfície nas leituras de refletância da folha. Os termos L, C e °h indicam brilho ('lightness'), cromaticidade e ângulo hue, respectivamente. Todas as avaliações, em cada folha, foram repetidas três vezes, a partir das quais foi calculada a média, evitando-se realizar leituras na nervura central dos folíolos. A média das leituras realizadas na QF das três plantas

representou o valor da parcela. As leituras com o Dualex foram feitas apenas no experimento realizado na safra “das águas”.

2.4.2. Teor de clorofila extraível na quarta folha

No folíolo terminal de cada QF, foram retirados 5 discos de tecido vegetal com o auxílio de um vazador circular com 1,1 cm de diâmetro. Em seguida, todos os discos foram acondicionados em frascos de vidro revestidos com papel alumínio para proteção da luz, contendo 5 mL do extrator N,N-dimetilformamida. As amostras foram acondicionadas sob refrigeração (8 °C) por 7 dias. As absorbâncias dos extratos foram analisadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 647 (A_{647}) e 664,5 nm ($A_{664,5}$). A partir das leituras obtidas no espectrofotômetro determinou-se o conteúdo das clorofilas *a*, *b* e total, utilizando-se as equações propostas por Inskeep & Bloom (1985), onde: $CHL_a = 12,63 \cdot A_{664,5} - 2,52 \cdot A_{647}$; $CHL_b = 20,47 \cdot A_{647} - 4,73 \cdot A_{664,5}$; $CHL_{total} = 17,95 \cdot A_{647} + 7,90 \cdot A_{664,5}$.

2.4.3. Teor e conteúdo de N na quarta folha

No laboratório, as folhas destacadas (QF) foram colocadas em estufa a 70 °C, até atingirem massa constante, para a obtenção da massa da matéria seca. Essa foi triturada em moinho tipo Wiley para determinação do teor de N-org (teor de N orgânico) após digestão sulfúrica utilizando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958). Em outra subamostra, foi extraído o N- NO_3^- (teor de N nítrico) com água desmineralizada, em banho-maria, a 45 °C por 1 h, determinando-se a concentração de N- NO_3^- por colorimetria, em espectrofotômetro a 410 nm segundo metodologia de Cataldo et al. (1975). O teor de N-total foi obtido pela soma dos teores de N-org e N- NO_3^- .

O conteúdo de N da QF (mg/folha) foi determinado pela multiplicação da quantidade de matéria seca (g) pelo teor de N na matéria seca ($g\ kg^{-1}$).

2.4.4. Produção comercial e total de tubérculos

Aos 97 e 90 dias após a emergência (DAE) para a safra “de inverno” e “das águas”, respectivamente, e com as ramas completamente secas, quatro plantas de cada tratamento foram colhidas e os tubérculos arrancados. Os mesmos permaneceram sobre o solo por duas horas para o secamento da película, sendo posteriormente levados para um galpão, onde foram separados em comerciais e não-comerciais, contados e pesados. Os tubérculos comerciais foram classificados de acordo com as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1995), em função do seu maior diâmetro transversal em: classe 1 (diâmetro maior ou igual a 8,5 cm); classe 2 (maior que 4,5 e menor que 8,5 cm); classe 3 (maior que 3,3 e menor que 4,5 cm) e classe 4 (menor ou igual a 3,3 cm). A produção comercial foi obtida somando-se as classes 1, 2 e 3. Os tubérculos não-comerciais foram considerados aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres, atacados por pragas e doenças, com defeitos de esverdeamento, embonecamento ou rachaduras.

2.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta dos experimentos para cada característica e regressão utilizando-se o software estatístico SAEG 9.1 (SAEG, 2007). Independentemente da significância da interação entre dose x época procedeu-se o desdobramento da mesma. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no significado biológico, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e coeficiente de determinação ($R^2 = \frac{SQ_{Regressão}}{SQ_{Tratamento}}$).

2.6. Máxima eficiência econômica (MEE), nível crítico e rendimento relativo

A dose de N que proporcionou a máxima produção física (MEF) foi obtida igualando-se a zero a primeira derivada da equação de resposta da produção comercial de tubérculos às doses de N. A dose de N que proporcionou a máxima eficiência econômica (MEE) foi obtida igualando-se

a primeira derivada da equação de resposta da produção comercial de tubérculos em função de doses de N à relação entre o preço médio do N contido na uréia e o preço da batata (\$/kg:\$/kg) nos últimos seis anos (jan/2005 a jan/2011). Os preços foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola de São Paulo. A relação média de preço (kg de uréia:kg de batata) foi 1,80, referente ao preço da batata de R\$ 0,74 kg⁻¹ e o preço do N na forma de uréia de R\$ 1,33 kg⁻¹.

Foi calculado o valor do nível crítico (NC) associado à dose de N que propiciou a máxima eficiência econômica (MEE), substituindo este valor na equação ajustada das referidas características (Fontes, 2011). Além disso, calculou-se o rendimento relativo dividindo-se a produção comercial observada pela produção comercial de máxima eficiência econômica estimada a partir da equação de regressão.

3. RESULTADOS

3.1. Produção total e comercial de tubérculos

Não houve efeito da interação entre doses de N e épocas de cultivo sobre as características produção total e comercial de tubérculos de batata ($P > 0,10$). Tanto a produtividade comercial quanto a produtividade total de tubérculos aumentaram significativamente com o aumento das doses de N, seguindo o modelo quadrático para ambas as épocas de cultivo (Figura 3).

As doses de 244,4 e 274,2 kg ha⁻¹ de N proporcionaram a máxima produtividade total de tubérculos nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente. Para essas épocas, a máxima produtividade comercial de tubérculos foi 41.133 e 27.595 kg ha⁻¹, obtidas com as doses de 254 e 282 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

As doses de máxima eficiência econômica (MEE) foram estimadas em 252 e 279 kg ha⁻¹ para as safras “de inverno” e “das águas”, resultando na produtividade média estimada de 41.131 e 27.592 kg ha⁻¹, respectivamente.

Para o número de tubérculos, não houve efeito da interação entre doses de N e época de cultivo ($P > 0,10$), mas houve aumento do número de tubérculos com o incremento das doses de N, seguindo modelos quadrático para as duas safras (Figura 4). Valores máximos de 14,6 e 11,3 tubérculos por planta foram obtidos com as doses de 251,4 e 254,8 kg ha⁻¹ de N, para as safras “de inverno” e das “águas”, respectivamente. Para essas safras, o número de tubérculos por planta associado à dose de máxima eficiência econômica foi 15 e 11.

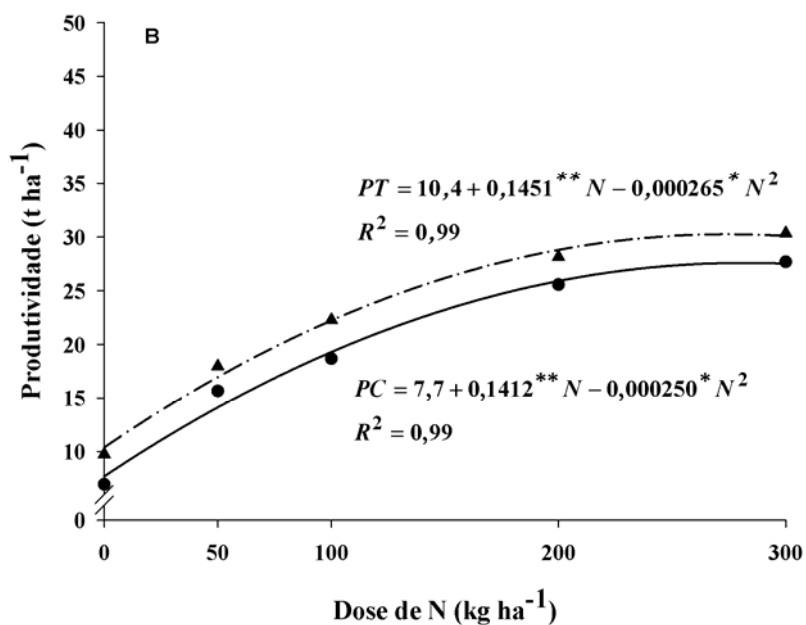
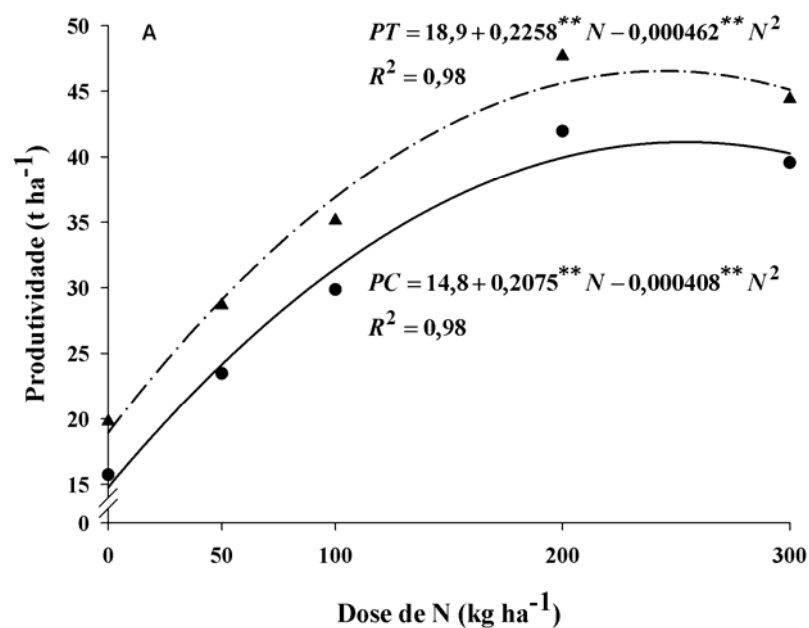


Figura 3 – Produtividades total (PT) e comercial (PC) de tubérculos de batata, em função das doses de nitrogênio (N), nas safras “de inverno” (A) e “das águas” (B).

** e * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

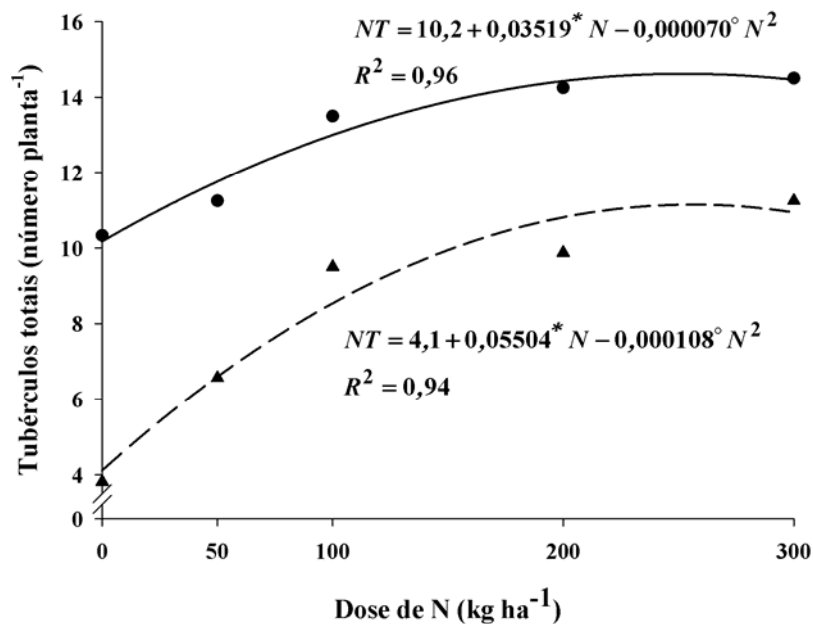


Figura 4 – Número de tubérculos de batata por planta, em função das doses de nitrogênio (N), nas safras “de inverno” (—) e “das águas” (---). * e ° significativo a 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

3.2. Medições ópticas de clorofila e flavonóis

Em determinações realizadas na QF, aos 21 DAE, houve efeito de doses sobre o índice SPAD ($P < 0,10$). Por outro lado, não houve efeito da interação entre doses x épocas de cultivo sobre essa variável ($P < 0,10$).

Na mesma data, houve efeito de dose de N sobre as variáveis ângulo hue ($^{\circ}h$) ($P < 0,10$), brilho (L) ($P < 0,10$) e cromaticidade (C) ($P < 0,10$) e, da mesma forma, não houve efeito da interação entre doses e épocas para as variáveis $^{\circ}h$ ($P > 0,10$), L ($P > 0,10$) e C ($P > 0,10$).

Também, aos 21 DAE, houve efeito de doses de N para os índices de flavonóis (IFLV) ($P < 0,10$), de clorofila (ICHL) ($P < 0,10$) e balanceado de N (IBN) ($P < 0,10$) determinados com o Dualex na “safra das águas”, não tendo sido avaliado na safra de inverno.

Os modelos para a relação entre doses de N e as variáveis SPAD, $^{\circ}h$, L, C, IFLV, ICHL e IBN determinados aos 21 DAE, na QF, nas duas épocas de plantio, estão na Tabela 2.

Em determinações realizadas na QF, aos 42 DAE, houve efeito de doses sobre o índice SPAD, °h, L, C, todos com $P < 0,10$. Para as determinações realizadas com o Dualex, na safra “das águas”, houve efeito de doses de N para IFLV ($P < 0,10$), ICHL ($P < 0,10$) e IBN ($P < 0,10$).

Não houve interação significativa entre doses e épocas de cultivo para o índice SPAD ($P > 0,10$), °h ($P > 0,10$), L ($P > 0,10$) e C ($P > 0,10$).

Os modelos para a relação entre doses de N e as variáveis SPAD, °h, L, C, IFLV, ICHL e IBN determinados aos 42 DAE, na QF, nas duas épocas de plantio, estão na Tabela 3.

O valor crítico estimado para as características índice SPAD, °h, L, C, IFLV, ICHL e IBN, determinado aos 21 e 42 DAE, na QF, nas duas épocas de plantio, associado à dose de N para a máxima eficiência econômica (MEE), está na Tabela 4.

Tabela 2 – Equações ajustadas para o índice SPAD, ângulo hue (°h), brilho (L), cromaticidade (C), índice de flavonóis (IFLV), índice de clorofila (ICHL) e índice balanceado de N (IBN) determinados na quarta-folha da batateira, aos 21 dias após a emergência da planta, em função de doses de N (kg ha⁻¹), nas safras “de inverno” e “das águas”.

Características	Equações ajustadas	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
SPAD21	$\hat{Y} = 39,0 + 0,02521^{**}N$	0,99
°h21	$\hat{Y} = 114,6 + 0,06174^{**}N - 0,000167^{**}N^2$	0,98
L21	$\hat{Y} = 39,8 - 0,71091^{**}\sqrt{N} + 0,026502^{*}N$	0,98
C21	$\hat{Y} = 28,7 - 0,90951^{**}\sqrt{N} + 0,026926^{*}N$	0,98
IFLV	ND	
ICHL	ND	
IBN	ND	
----- Safra “das águas” -----		
SPAD21	$\hat{Y} = 37,2 + 0,03341^{**}N$	0,97
°h21	$\hat{Y} = 111,5 + 0,0261^{*}N - 0,000048^{*}N^2$	0,96
L21	$\hat{Y} = 42,1 - 0,01672^{**}N$	0,98
C21	$\hat{Y} = 30,3 - 0,02467^{**}N$	0,99
IFLV21	$\hat{Y} = 3,76 - 0,00326^{**}N$	0,95
ICHL21	$\hat{Y} = 30,8 + 0,03370^{**}N$	0,98
IBN21	$\hat{Y} = 8,27 + 0,02093^{**}N$	0,99

** , * e °: significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.
 ND = não determinado

Tabela 3 – Equações ajustadas para o índice SPAD, ângulo hue (°h), brilho (L) e cromaticidade (C), índice de flavonóis (IFLV), índice de clorofila (ICHL) e índice balanceado de N (IBN) determinados na quarta-folha da batateira, aos 42 dias após a emergência da planta, em função de doses de N (kg ha⁻¹), nas safras “de inverno” e “das águas”.

Características	Equações ajustadas	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
SPAD42	$\hat{Y} = 32,5 + 0,03497^{**}N$	0,94
°h42	$\hat{Y} = 112,9 + 0,0,03203^{**}N - 0,000055^{*}N^2$	0,99
L42	$\hat{Y} = 43,3 - 0,03455^{*}N + 0,000045^{*}N^2$	0,98
C42	$\hat{Y} = 32,3 - 0,03491^{**}N^2$	0,98
IFLV42	ND	
ICHL42	ND	
IBN42	ND	
----- Safra “das águas” -----		
SPAD42	$\hat{Y} = 34,9 + 0,03514^{**}N$	0,94
°h42	$\hat{Y} = 109,2 + 0,04114^{*}N - 0,000085^{*}N^2$	0,96
L42	$\hat{Y} = 42,8 - 0,03490^{**}N + 0,000067^{*}N^2$	0,98
C42	$\hat{Y} = 32,5 - 0,05588^{*}N + 0,000111^{*}N^2$	0,91
IFLV42	$\hat{Y} = 3,57 - 0,00494^{**}N$	0,89
ICHL42	$\hat{Y} = 32,7 + 0,02851^{**}N$	0,97
IBN42	$\hat{Y} = 8,83 + 0,03805^{**}N$	0,91

** , * e °: significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.
 ND = não determinado

Tabela 4 – Valor crítico estimado do índice SPAD, ângulo hue ($^{\circ}$ h), brilho (L), cromaticidade (C), índice de flavonóis (IFLV), índice de clorofila (ICHL) e índice balanceado de N (IBN) determinados na quarta-folha da batateira, aos 21 e 42 dias após a emergência da planta, nas safras “de inverno” e “das águas”, associado à dose de N para a máxima eficiência econômica.

Características	21 DAE	42 DAE
----- Safra “de inverno” -----		
SPAD	45,4	41,3
$^{\circ}$ h	119,6	117,5
L	35,2	37,5
C	21,1	23,5
IFLV	ND	ND
ICHL	ND	ND
IBN	ND	ND
----- Safra “das águas” -----		
SPAD	46,5	44,7
$^{\circ}$ h	115,0	114,1
L	37,4	38,3
C	23,4	25,5
IFLV	2,85	2,19
ICHL	40,2	40,7
IBN	14,11	19,4

ND = não determinado

3.3. Teor de clorofila extraível

Nas determinações realizadas aos 21 e 42 DAE houve efeito de doses de N sobre os teores extraíveis de clorofila total (CHL_{total}), clorofila *a* (CHL_a), clorofila *b* (CHL_b) e relação clorofila *a/b* ($CHL_{a/b}$), todos com $P < 0,10$.

Não houve efeito da interação entre doses de N e épocas de cultivo para CHL_{total} , CHL_a ($P > 0,10$), CHL_b ($P > 0,10$) e $CHL_{a/b}$ ($P > 0,10$) determinados na QF aos 21 DAE.

Os modelos para a relação entre doses de N e CHL_{total} , CHL_a , CHL_b e $CHL_{a/b}$ determinados aos 21 DAE na QF estão na Tabela 5.

Semelhantemente, aos 42 DAE, não houve interação significativa entre doses de N e épocas de cultivo para CHL_{total} ($P > 0,10$), CHL_a ($P > 0,10$) e CHL_b ($P > 0,10$). O contrário foi verificado para $CHL_{a/b}$ ($P < 0,10$).

Os modelos para a relação entre doses de N e CHL_{total} , CHL_a , CHL_b e $CHL_{a/b}$ determinados aos 42 na QF estão na Tabela 6.

O valor crítico estimado para as características CHL_{total} , CHL_a , CHL_b e $CHL_{a/b}$ determinado aos 21 e 42 DAE, na QF, nas duas épocas de plantio, associado à dose de N para a máxima eficiência econômica (MEE), está na Tabela 7.

Tabela 5 – Equações ajustadas para os teores de clorofila (CHL) extraível ($\mu\text{g cm}^{-2}$) determinados na quarta-folha da batateira aos 21 dias após a emergência da planta em função de doses de N (kg ha^{-1}), nas safras “de inverno” e “das águas”.

Características	Equações ajustadas	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
$CHL_{total21}$	$\hat{Y} = 190,4 + 0,21125^{**}N$	0,96
CHL_a21	$\hat{Y} = 133,7 + 0,13839^{**}N - 0,000303^{**}N^2$	0,99
CHL_b21	$\hat{Y} = 54,3 + 0,15023^{**}N$	0,98
$CHL_{a/b21}$	$\hat{Y} = 2,52 - 0,003691^{**}N$	0,96
----- Safra “das águas” -----		
$CHL_{total21}$	$\hat{Y} = 150,9 + 0,35384^{**}N - 0,000716^{**}N^2$	0,99
CHL_a21	$\hat{Y} = 109,5 + 0,13992^{*}N - 0,000329^{\circ}N^2$	0,90
CHL_b21	$\hat{Y} = 46,4 + 0,09539^{**}N$	0,87
$CHL_{a/b21}$	$\hat{Y} = 2,62 - 0,00578^{*}N + 0,000009^{\circ}N^2$	0,98

** , * e °: significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Tabela 6 – Equações ajustadas para os teores de clorofila (CHL) extraível ($\mu\text{g cm}^{-2}$) determinados na quarta-folha da batateira aos 42 dias após a emergência da planta em função de doses de N (kg ha^{-1}), nas safras “de inverno” e “das águas”.

Características	Equações ajustadas	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
CHL _{total} 42	$\hat{Y} = 138,6 + 0,21099^{**}N$	0,93
CHL _a 42	$\hat{Y} = 99,5 + 0,23163^{*}N - 0,000325^{\circ}N^2$	0,98
CHL _b 42	$\hat{Y} = 35,1 + 0,08560^{**}N$	0,93
CHL _{a/b} 42	$\hat{Y} = 3,32 - 0,00251^{**}N$	0,85
----- Safra “das águas” -----		
CHL _{total} 42	$\hat{Y} = 121,5 + 0,33999^{*}N - 0,000467^{\circ}N^2$	0,98
CHL _a 42	$\hat{Y} = 94,3 + 0,18632^{*}N - 0,000313^{\circ}N^2$	0,97
CHL _b 42	$\hat{Y} = 28,9 + 0,10707^{**}N$	0,97
CHL _{a/b} 42	$\hat{Y} = 3,40 - 0,00768^{*}N + 0,000011^{\circ}N^2$	0,99

** , * e °: significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Tabela 7 – Valor crítico estimado dos teores de clorofila (CHL) extraível ($\mu\text{g cm}^{-2}$) determinados na quarta-folha da batata, aos 21 e 42 dias após a emergência da planta, nas safras “de inverno” e “das águas”, associado à dose de N para a máxima eficiência econômica.

Características	21 DAE	42 DAE
----- Safra “de inverno” -----		
CHL _{total}	243,7	191,6
CHL _a	149,3	150,2
CHL _b	92,2	56,6
CHL _{a/b}	1,6	2,7
----- Safra “das águas” -----		
CHL _{total}	193,9	180,0
CHL _a	122,9	121,9
CHL _b	73,0	58,8
CHL _{a/b}	1,7	2,1

3.4. Teor e conteúdo de N na quarta folha

Em determinações realizadas na massa da matéria seca da quarta-folha (QF), aos 21 DAE, houve efeito de doses de N sobre os teores de nitrato (TN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (TN- N_{org}) e nitrogênio total (TN- N_{total}), todos com $P < 0,10$. Os mesmos resultados foram verificados para os conteúdos de nitrato (CN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (CN- N_{org}) e nitrogênio total (CN- N_{total}) na QF.

Não houve interação entre doses de N e épocas de plantio para os teores de TN- NO_3^- ($P > 0,10$), TN- N_{org} ($P > 0,10$) e TN- N_{total} ($P > 0,10$). De forma semelhante, não foi verificada interação entre doses e conteúdos de CN- NO_3^- ($P > 0,10$) e de CN- N_{org} . Entretanto, para o conteúdo CN- N_{total} , houve efeito da interação entre doses de N e época de plantio ($P < 0,10$).

Os modelos ajustados das relações entre as doses de N e os teores e conteúdo de nitrogênio (N- NO_3^- , N- N_{org} e N- N_{total}), determinados na matéria seca da QF da batata, aos 21 DAE, nas safras “de inverno” e “das águas”, são apresentados na Tabela 8. O teor de N- NO_3^- na QF determinado aos 21 DAE aumentou com as doses de N aplicadas em pré-plantio atingindo o maior valor estimado de 2,06 e 1,96 g kg⁻¹, com as doses de 239,2 e 300 kg ha⁻¹, nas safras “de inverno” e das “águas”, respectivamente. Nestas mesmas épocas, os teores máximos de N- N_{org} na matéria seca foram 51,5 e 45,9 g kg⁻¹, obtidos com as doses 230,8 e 300 kg ha⁻¹, respectivamente.

Os conteúdos de N- NO_3^- e N- N_{org} na QF, aos 21 DAE, determinados na safra “de inverno”, aumentaram com o incremento das doses de N aplicadas, atingindo o maior valor de 1,7 e 37,6 mg folha⁻¹, para N- NO_3^- e N- N_{org} , com as doses de 300 e 259 kg ha⁻¹, respectivamente. Para a safra “das águas”, os maiores valores atingidos foram 1,2 e 29,2 mg folha⁻¹, para N- NO_3^- e N- NH_4^+ , ambos obtidos com a dose 300 kg ha⁻¹.

Para as determinações realizadas na massa da matéria seca da quarta-folha (QF), aos 42 DAE, houve efeito de doses de N sobre os teores de TN- NO_3^- , TN- N_{org} e TN- N_{total} , todos com $P < 0,10$. Os mesmos resultados foram verificados para os conteúdos CN- NO_3^- , CN- N_{org} e CN- N_{total} .

Nesta mesma época, não houve efeito da interação entre doses de N e épocas de plantio para os teores de TN- NO_3^- ($P > 0,10$), TN- N_{org} ($P > 0,10$) e TN- N_{total} ($P > 0,10$). De forma semelhante, não foi verificada interação entre doses de N e época de plantio para conteúdo de CN- NO_3^- ($P > 0,10$). No entanto, para os conteúdos de CN- N_{org} e CN- N_{total} houve efeito da interação entre doses de N e época de plantio, ambos com $P < 0,10$.

Aos 42 DAE, o teor de N- NO_3^- na QF aumentou com as doses de N aplicadas em pré-plantio (Tabela 9) atingindo o maior valor estimado de 1,53 e 1,78 g kg^{-1} , nas safras “de inverno” e das “águas”, respectivamente, com as doses de 300 kg ha^{-1} . Nestas mesmas épocas de cultivo, os teores máximos de N- NH_4^+ foram de 50,6 e de 39,9 g kg^{-1} , obtidos com a dose de 300 kg ha^{-1} . Os conteúdos de N- NO_3^- e N- N_{org} na QF, aos 42 DAE, determinados na safra “de inverno” aumentaram com o incremento das doses de N aplicadas atingindo o maior valor de 1,2 e 41,2 mg folha^{-1} , para N- NO_3^- e N- N_{org} , com a dose de 300 kg ha^{-1} . Na safra “das águas” os maiores valores atingidos foram de 1,0 e 23,6 mg folha^{-1} , para N- NO_3^- e N- N_{org} , ambos obtidos com a dose de 300 kg ha^{-1} .

O valor crítico estimado para as características TN- NO_3^- , TN- N_{org} , TN- N_{total} , CN- NO_3^- , CN- N_{org} e CN- N_{total} determinado aos 21 e 42 DAE, na QF, nas duas épocas de plantio, associado à dose de N para a máxima eficiência econômica (MEE), está na Tabela 10.

Tabela 8 – Equações ajustadas para os teores e conteúdos de nitrato (N- NO_3^-), nitrogênio orgânico (N-N_{org}), nitrogênio total (N-N_{total}) na massa da matéria seca da quarta-folha da batateira, aos 21 dias após a emergência da planta, em função de doses de N (kg ha⁻¹), nas safras “de inverno” e “das águas”.

Características	Equações ajustadas	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
TN- NO_3^-	$\hat{Y} = 0,23 + 0,01531^{**}N - 0,000032^{*}N^2$	0,97
TN-N _{org}	$\hat{Y} = 41,9 + 0,08307^{**}N - 0,00018^{*}N^2$	0,98
TN-N _{total}	$\hat{Y} = 42,1 + 0,09837^{**}N - 0,00021^{*}N^2$	0,98
CN- NO_3^-	$\hat{Y} = 0,24 + 0,00487^{**}N$	0,91
CN-N _{org}	$\hat{Y} = 14,8 + 0,17601^{**}N - 0,00034^{**}N^2$	0,99
CN-N _{total}	$\hat{Y} = 14,9 + 0,18598^{**}N - 0,00036^{**}N^2$	0,99
----- Safra “das águas” -----		
TN- NO_3^-	$\hat{Y} = 0,24 + 0,00573^{**}N$	0,98
TN-N _{org}	$\hat{Y} = 26,5 + 0,06444^{**}N$	0,91
TN-N _{total}	$\hat{Y} = 26,7 + 0,07017^{**}N$	0,92
CN- NO_3^-	$\hat{Y} = 0,01 + 0,00397^{**}N$	0,99
CN-N _{org}	$\hat{Y} = 6,1 + 0,07685^{**}N$	0,96
CN-N _{total}	$\hat{Y} = 6,1 + 0,08083^{**}N$	0,97

** e *: significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

Tabela 9 – Equações ajustadas para os teores e conteúdos de nitrato (N-NO_3^-), nitrogênio orgânico (N-N_{org}), nitrogênio total ($\text{N-N}_{\text{total}}$) na massa da matéria seca da quarta-folha da batateira, aos 42 dias após a emergência da planta, em função de doses de N (kg ha^{-1}), nas safras “de inverno” e “das águas”.

Características	Equações ajustadas	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
TN- NO_3^-	$\hat{Y} = 0,15 + 0,00460^{**}\text{N}$	0,95
TN- N_{org}	$\hat{Y} = 37,7 + 0,04308^{**}\text{N}$	0,96
TN- N_{total}	$\hat{Y} = 37,9 + 0,04768^{**}\text{N}$	0,97
CN- NO_3^-	$\hat{Y} = - 0,005 + 0,00391^{**}\text{N}$	0,95
CN- N_{org}	$\hat{Y} = 13,2 + 0,09326^{**}\text{N}$	0,99
CN- N_{total}	$\hat{Y} = 13,2 + 0,09718^{**}\text{N}$	0,99
----- Safra “das águas” -----		
TN- NO_3^-	$\hat{Y} = 0,06 + 0,00574^{**}\text{N}$	0,98
TN- N_{org}	$\hat{Y} = 26,8 + 0,04359^{**}\text{N}$	0,93
TN- N_{total}	$\hat{Y} = 26,8 + 0,04933^{**}\text{N}$	0,94
CN- NO_3^-	$\hat{Y} = - 0,006 + 0,00341^{**}\text{N}$	0,98
CN- N_{org}	$\hat{Y} = 11,6 + 0,03990^{**}\text{N}$	0,92
CN- N_{total}	$\hat{Y} = 11,6 + 0,04331^{**}\text{N}$	0,93

** : significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Tabela 10 – Valor crítico estimado dos teores de nitrato (TN- NO_3^-), N orgânico (TN- N_{org}), N total (TN- N_{total}), em g kg^{-1} , e conteúdos de nitrato (CN- NO_3^-), N orgânico (CN- N_{org}) e N total (CN- N_{total}), em mg folha^{-1} , determinados na quarta-folha da batateira, aos 21 e 42 dias após a emergência da planta, nas safras “de inverno” e “das águas”, associado à dose de N para a máxima eficiência econômica.

Características	21 DAE	42 DAE
----- Safra “de inverno” -----		
TN- NO_3^-	2,1	1,3
TN- NH_4^+	50,7	48,6
TN- N_{total}	53,6	49,9
CN- NO_3^-	1,5	1,0
CN- N_{org}	37,6	36,7
CN- N_{total}	38,8	37,7
----- Safra “das águas” -----		
TN- NO_3^-	1,8	1,6
TN- NH_4^+	44,5	39,0
TN- N_{total}	46,3	40,6
CN- NO_3^-	1,1	1,0
CN- N_{org}	27,5	22,7
CN- N_{total}	28,7	23,7

3.5. Relação entre Índice SPAD e Rendimento relativo

O valor do índice SPAD, aos 21 DAE, associado à 95 % do rendimento relativo de tubérculos comerciais de batata foi 45,2 na safra “de inverno” e 45,9 na safra “das águas” (Figura 5).

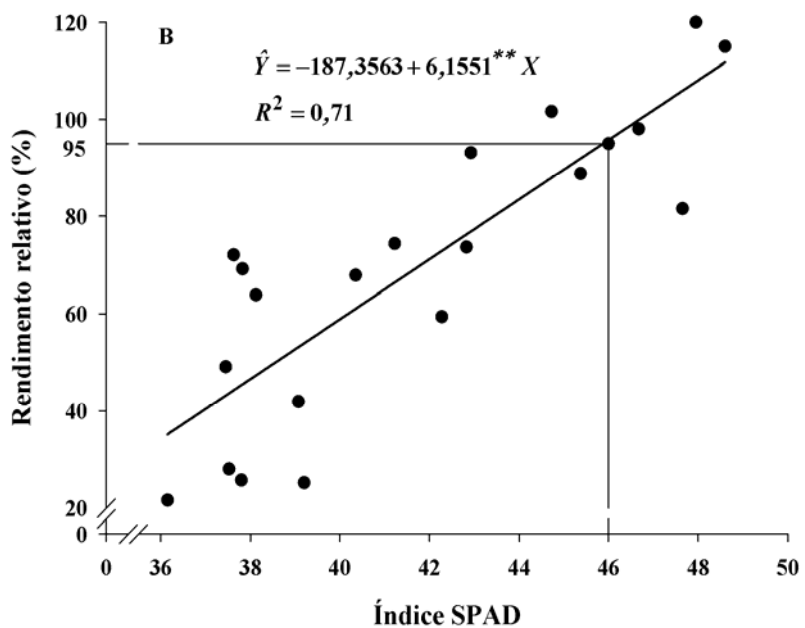
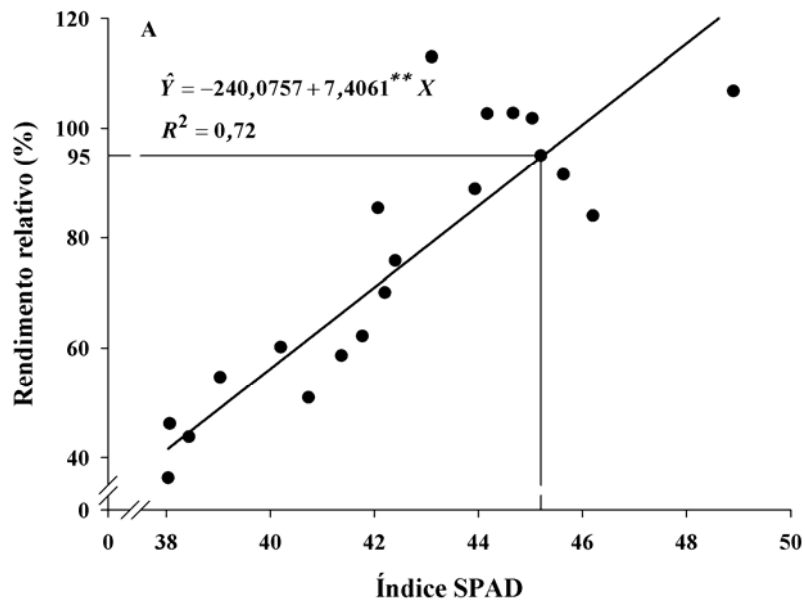


Figura 5. Rendimento relativo de tubérculos comerciais de batata, em função dos valores do índice SPAD determinados na quarta-folha, aos 21 DAE, nas safras “de inverno” (A) e “das águas” (B). **: significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

3.6. Correlações das características medidas na quarta folha da planta de batata, aos 21 e 42 dias após a emergência, com o número total, produção total e produção comercial de tubérculos

As estimativas dos coeficientes de correlação linear das características determinadas na QF da batateira, aos 21 DAE, com o número total, produção total e produção comercial de tubérculos encontram-se nas Tabelas 11 e 12, para as safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente. Da mesma forma, as estimativas dos coeficientes de correlação linear das características determinadas aos 42 DAE estão nas Tabelas 13 e 14, respectivamente.

Tabela 11 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características medidas na QF da batata, aos 21 DAE, com o número total de tubérculos (NTT), produção total de tubérculos (PTT), produção de tubérculos comerciais (PCT) na colheita, na safra “de inverno”.

Características aos 21 DAE	Características na colheita		
	NTT	PTT	PCT
SPAD (unidades SPAD)	0,72**	0,85**	0,85**
°h	0,62**	0,77**	0,75**
°h*(L/C)	0,51**	0,72**	0,72**
L	-0,40*	-0,61**	-0,59**
C	-0,56**	-0,71**	-0,70**
TN- NO_3^- (g kg ⁻¹)	0,45*	0,62**	0,64**
TN-N _{org} (g kg ⁻¹)	0,32°	0,41*	0,43*
TN-N _{total} (g kg ⁻¹)	0,36°	0,46*	0,48*
CN- NO_3^- (mg folha ⁻¹)	0,48**	0,66**	0,69**
CN-N _{org} (mg folha ⁻¹)	0,65**	0,84**	0,86**
CN-N _{total} (mg folha ⁻¹)	0,65**	0,84**	0,87**
Teor CHL _a (µg cm ⁻²)	0,56**	0,81**	0,81**
Teor CHL _b (µg cm ⁻²)	0,51**	0,79**	0,78**
Teor CHL _{total} (µg cm ⁻²)	0,51**	0,79**	0,80**
MSQF (g)	0,70**	0,87**	0,88**
IFLV	ND	ND	ND
ICHL	ND	ND	ND
IBN	ND	ND	ND

** , * e ° significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.
ND = não determinado

Tabela 12 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características medidas na QF da batata, aos 21 DAE, com o número total de tubérculos (NTT), produção total de tubérculos (PTT), produção de tubérculos comerciais (PCT) na colheita, na safra “das águas”.

Características aos 21 DAE	Características na colheita		
	NTT	PTT	PCT
SPAD (unidades SPAD)	0,77**	0,84**	0,84**
°h	0,86**	0,81**	0,76**
°h*(L/C)	0,82**	0,87**	0,84**
L	-0,77**	-0,79**	-0,75**
C	-0,83**	-0,88**	-0,87**
TN- NO_3^- (g kg ⁻¹)	0,80**	0,88**	0,89**
TN- NH_4^+ (g kg ⁻¹)	0,75**	0,84**	0,82**
TN-N _{total} (g kg ⁻¹)	0,76**	0,85**	0,83**
CN- NO_3^- (mg folha ⁻¹)	0,77**	0,82**	0,83**
CN- NH_4^+ (mg folha ⁻¹)	0,82**	0,85**	0,85**
CN-N _{total} (mg folha ⁻¹)	0,81**	0,83**	0,83**
Teor CHL _a (µg cm ⁻²)	0,60**	0,63**	0,63**
Teor CHL _b (µg cm ⁻²)	0,56**	0,67**	0,66**
Teor CHL _{total} (µg cm ⁻²)	0,63**	0,73**	0,72**
MSQF (g)	0,82**	0,81**	0,82**
IFLV	-0,79**	-0,72**	-0,76**
ICHL	0,77**	0,80**	0,82**
IBN	0,76**	0,73**	0,76**

** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Tabela 13 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características medidas na QF da batata, aos 42 DAE, com o número total de tubérculos (NTT), produção total de tubérculos (PTT), produção de tubérculos comerciais (PTC) na colheita, na safra “de inverno”.

Características aos 21 DAE	Características na colheita		
	NTT	PTT	PCT
SPAD (unidades SPAD)	0,71**	0,89**	0,90**
°h	0,71**	0,82**	0,82**
°h*(L/C)	0,62**	0,80**	0,82**
L	-0,60**	-0,77**	-0,79**
C	-0,64**	-0,80**	-0,82**
TN- NO_3^- (g kg ⁻¹)	0,49*	0,83**	0,86**
TN- NH_4^+ (g kg ⁻¹)	0,56**	0,71**	0,73**
TN-N _{total} (g kg ⁻¹)	0,56**	0,73**	0,75**
CN- NO_3^- (mg folha ⁻¹)	0,54**	0,83**	0,85**
CN- NH_4^+ (mg folha ⁻¹)	0,61**	0,79**	0,80**
CN-N _{total} (mg folha ⁻¹)	0,59**	0,75**	0,75**
Teor CHL _a (µg cm ⁻²)	0,62**	0,87**	0,88**
Teor CHL _b (µg cm ⁻²)	0,53**	0,72**	0,73**
Teor CHL _{total} (µg cm ⁻²)	0,59**	0,81**	0,81**
MSQF (g)	0,61**	0,78**	0,78**
IFLV	ND	ND	ND
ICHL	ND	ND	ND
IBN	ND	ND	ND

** e * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

ND = não determinado

Tabela 14 – Estimativas dos coeficientes de correlação linear simples (r) das características medidas na QF da batata, aos 42 DAE, com o número total de tubérculos (NTT), produção total de tubérculos (PTT), produção de tubérculos comerciais (PCT) na colheita, na safra “das águas”.

Características aos 21 DAE	Características na colheita		
	NTT	PTT	PCT
SPAD (unidades SPAD)	0,74**	0,85**	0,85**
°h	0,57**	0,67**	0,69**
°h*(L/C)	0,55**	0,73**	0,74**
L	-0,52**	-0,70**	-0,71**
C	-0,56**	-0,72**	-0,71**
TN- NO_3^- (g kg ⁻¹)	0,60**	0,78**	0,82**
TN- NH_4^+ (g kg ⁻¹)	0,52**	0,70**	0,74**
TN-N _{total} (g kg ⁻¹)	0,54**	0,72**	0,76**
CN- NO_3^- (mg folha ⁻¹)	0,64**	0,82**	0,85**
CN- NH_4^+ (mg folha ⁻¹)	0,64**	0,79**	0,80**
CN-N _{total} (mg folha ⁻¹)	0,70**	0,80**	0,82**
Teor CHL _a (µg cm ⁻²)	0,74**	0,83**	0,83**
Teor CHL _b (µg cm ⁻²)	0,74**	0,87**	0,87**
Teor CHL _{total} (µg cm ⁻²)	0,75**	0,86**	0,87**
MSQF (g)	0,64**	0,73**	0,71**
IFLV	-0,70**	-0,84**	-0,81**
ICHL	0,69**	0,83**	0,83**
IBN	0,65**	0,83**	0,82**

** significativo a 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.
 ND = não determinado

4. DISCUSSÃO

A batata é hortaliça de grande valor comercial e responde à adição de nutrientes no solo, especialmente o nitrogênio (N). O efeito positivo da aplicação de N na produção de tubérculos de batata tem sido relatado em diversas regiões do Brasil e do mundo (Meyer & Marcum, 1998; Bélanger et al., 2000; Rodrigues et al., 2005, Barcelos et al., 2007; Fontes et al., 2010). Porém, Marschner (1995) ressalta que dose excessiva de fertilizante nitrogenado pode reduzir a produtividade das culturas, pois, no caso da batata estimularia mais o crescimento vegetativo do que o número de tubérculos. Além de não contribuir para o aumento no número de tubérculos, o excesso de massa da matéria seca do dossel da planta implica em aumento do consumo de assimilados pela respiração, que será tanto maior quanto mais elevado for o índice de área foliar, diminuindo a transferência de fotoassimilados para o “enchimento” dos tubérculos (Westermann & Kleinkopf, 1985; Chambenoit et al., 2002).

No presente trabalho, verificou-se que as máximas produtividades comerciais de tubérculos foram 41,1 e 27,6 t ha⁻¹, obtidas com as doses de 254 e 282 kg ha⁻¹ de N, nas safras “de inverno e das águas”, respectivamente, ou seja, houve redução de 33 % na produtividade verificada nas safras “das águas” em comparação ao cultivo “de inverno”.

Além disso, verificou-se o acréscimo de 10 % na dose de N para se obter a máxima produtividade comercial de tubérculos no cultivo “das águas” quando comparado com o cultivo no período “de inverno”. Isso é, o N foi menos eficientemente utilizado na safra das “águas” do que no inverno. Menezes et al. (1999) comprovaram que o cultivo de batata na safra das águas, em Minas Gerais, sob temperaturas mais altas, resulta em produção de cerca de 25 % menor e em qualidade inferior dos tubérculos em comparação com o cultivo de inverno. Na época das águas, ocorrem aumentos da temperatura, principalmente as noturnas, fotoperíodo, precipitação pluviométrica e radiação, desfavoráveis para o cultivo da batata (Lemaga & Caesar, 1990). As altas temperaturas verificadas na safra “das águas” podem ter contribuído para maior taxa de respiração e transpiração das plantas, provocando estresse hídrico mesmo com apropriado teor de água no solo. Além disso, a fotossíntese líquida diminui sob temperaturas diárias acima de 25 °C (Horton, 1987), podendo ter contribuído para menor produtividade verificada na safra “das águas”. Outra possibilidade para explicar a menor produtividade obtida na safra “das águas” pode estar atrelada ao menor teor de N no solo na época das chuvas, ocasionado por perda de N- NO_3^- por lixiviação, principalmente na fase anterior à emergência da planta (Dyenia et al., 2006). No entanto, os resultados de produtividade obtidos tanto na safra “de inverno” quanto na safra “das águas” estão acima da produtividade média do Estado de Minas Gerais, que é de 24,2 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2011).

Em trabalhos realizados na mesma região do presente experimento, com a cultivar Ágata, na época “das secas”, e utilizando-se sulfato de amônio ou uréia como fonte de adubo nitrogenado, obteve-se produtividade comercial máxima de 33,1 ou 45,0 t ha⁻¹ com as doses de 168 ou 297 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Fontes et al., 2010; Coelho et al., 2010). Tais valores indicam a produção de 197 e 151 kg de batata por kg de N adicionado como adubo. No Canadá, trabalho realizado com as cultivares de batata Shepody e Russet Burbank, em quatro localidades, por três anos consecutivos e utilizando-se irrigação suplementar, a dose de N que proporcionou as máximas produtividades variou entre 158 e 233 kg ha⁻¹ de N.

Para a máxima produção comercial, a melhor dose de N variou entre 151 e 250 kg ha⁻¹ (Bélanger et al., 2000). Mahmoodabad et al. (2011) verificaram aumento de produtividade em função de doses de N, atingindo a produtividade de tubérculos de 31,7 t ha⁻¹ com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N. Diferenças na produtividade de tubérculos entre diferentes anos foram reportadas por Rodrigues et al. (2005), principalmente nas parcelas controle, e justificadas, em parte, pela diferença no teor de N disponível no solo.

De maneira geral, dose de N variando de 30 a 350 kg ha⁻¹ tem sido recomendada para o cultivo de batata irrigada em diversas regiões do mundo (Williams & Maier, 1990). Nos países da Europa e nos Estados Unidos, a dose de N recomendada varia de 70 a 330 kg ha⁻¹, com ciclo de cultivo em torno de cinco meses (Kolbe & Beckmann, 1997) e no Canadá de 165 a 215 kg ha⁻¹ (Zebarth et al., 2004). No Brasil, é possível encontrar recomendações de fertilização variando de 60 a 250 kg ha⁻¹ de N (Fontes, 1999).

Aumento no número de tubérculos em função de doses de N também foi observado por Paula (2005), em cultivo de batata em solução nutritiva, sendo produzidos 13 tubérculos por planta da cultivar Asterix com a dose de 16,3 mmol L⁻¹ de N. Cardoso (2007), por sua vez, ao analisar o número médio de tubérculos por planta na cultivar Ágata com variados parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio não obteve resultados estatisticamente significativos, sendo verificado a produção média de 10 tubérculos por planta. Além disso, as variações no número de tubérculos observados nas diferentes épocas de cultivo podem estar relacionadas as diferenças de temperaturas verificadas nestas épocas. Geralmente, o número de tubérculos é maior a temperaturas mais baixas, especialmente as noturnas (Andreu, 2005), corroborando com os dados observados no presente experimento.

Acréscimos nas concentrações de N na folha têm sido detectados com o aumento da quantidade da adubação nitrogenada. Os aumentos tendem a atingir variações pronunciadas que decrescem à medida que aumenta a quantidade do fertilizante aplicado (White & Sanderson, 1983). Gil et al. (2002) verificaram que o teor de N na massa seca da quarta folha da batata aumentou de maneira quadrática com o incremento das doses de

N em pré-plantio, encontrando o valor de $61,5 \text{ g kg}^{-1}$ associado com a dose de N que propiciou a maior produção de tubérculos comerciais. Valores de 40 a 65 g kg^{-1} de N na matéria seca da folha completamente desenvolvida de batateira jovem são citados como adequados (Rodrigues et al., 2000). O teor de N_{total} determinado na QF da batateira por Busato (2007) constituiu-se em maior parte por N_{org}, sendo pequena a contribuição do N- NO_3^- . Na planta, a utilização do N é determinada por vários fatores, entre os quais a eficiência da absorção de NO_3^- ou NH_4^+ , atividade da redutase do nitrato, estoque relativo dos íons no solo, NO_3^- , habilidade de mobilizar e translocar N para os órgãos dreno e adaptação à baixa disponibilidade de N no meio (Duncan & Baligar, 1991).

O índice SPAD determinado na QF aumentou linearmente com as doses de N, indicando aumento na intensidade da cor verde. Aumento linear no índice SPAD nem sempre é verificado, pois o clorofilômetro não detecta o consumo de luxo de N (Blackmer & Schepers, 1994), ou seja, quando se trabalha com altas doses de N, o índice SPAD na folha tende a aumentar até certo ponto, chamado de ponto de maturidade fotossintética (Costa et al., 2001), a partir do qual se mantém invariável, enquanto o teor de N continua aumentando com as doses crescentes de N. Isto pode ser atribuído ao fato do aparelho detectar, indiretamente, o aumento de N apenas quando está sendo incorporado em moléculas de clorofila e não na forma livre, não incorporada (N- NO_3^-), na qual o N se acumula quando há consumo de luxo (Larcher, 2000). Tal fato ocorreu em baixa intensidade refletindo-se na baixa concentração de N- NO_3^- na folha.

No presente trabalho, o valor do nível crítico do índice SPAD aos 21 DAE variou de 45,4 a 46,5. Valores críticos do índice SPAD variando de 35,2 a 53,0 determinados aos 21 DAE foram verificados na cultura da batata na região de Viçosa em diferentes condições experimentais, épocas de plantio e cultivares (Gil, 2001; Busato, 2007; Silva et al., 2009; Coelho et al., 2010). Vários fatores podem afetar o valor de SPAD, entre os quais posição de leitura na folha, incluindo ou não a nervura (Arregui et al., 2000), genótipo, estágio de crescimento da planta, idade da folha, temperaturas extremas, luminosidade no momento da leitura, época do ano e outros (Fontes &

Araújo, 2007). Além dos fatores que influenciam o valor da leitura SPAD, há influência marcante do procedimento adotado para os cálculos da dose ótima de N (Fontes, 2011) e do nível crítico (Fontes & Ronchi, 2002), contribuindo para essa amplitude de valores verificados.

O nível crítico do índice SPAD estimado aos 21 DAE na QF, nas safras “de inverno” e “das águas”, é adequado e permite uma produtividade superior a 95% no rendimento máximo. No entanto, ao se considerar o nível crítico como sendo o valor do índice SPAD para obtenção de 90% do rendimento máximo, o índice foi de 44,6 para o experimento “de inverno” e de 45,1 para o experimento “das águas”. Fontes (2011) conceitua nível crítico como sendo a concentração do nutriente na matéria seca de determinado órgão da planta acima da qual não haverá resposta da performance da planta à aplicação desse nutriente no solo.

No presente trabalho, houve aumento do teor de clorofila na folha com aumento da dose de N, provavelmente, devido à participação direta do N na constituição da clorofila, a qual tem no glutamato seu precursor inicial. O glutamato é um composto nitrogenado que, além de ser o precursor de outros aminoácidos essenciais, é também o precursor do ácido δ-amino-levulínico (ALA) que é considerado precursor universal dos tetrapirrólicos. Assim, a deficiência de N provoca a redução na síntese do glutamato, ALA e na atividade da porfobilinogênio sintase e, como consequência, uma queda na biossíntese de clorofila, o que leva ao desenvolvimento da clorose nas plantas com deficiência de N (Streit et al., 2005). Decréscimo da relação clorofila a/b com o aumento da disponibilidade de N tem sido relatado na literatura (Kitajima et al., 2003), corroborando com os resultados observados no experimento. A razão clorofila a/b pode servir como um índice para caracterizar o estado de desenvolvimento do aparato fotossintético (Grover & Mohanty, 1993). Para a maioria das plantas a razão clorofila a/b em folhas verdes completamente maduras é em torno de 3, no entanto, esta razão pode variar bastante dependendo do estado fisiológico da planta (Schoefs et al., 1998; Kouril et al., 1999). O decréscimo da razão $CHL_{a/b}$ no presente trabalho foi acompanhado do aumento da síntese de CHL_b , com o aumento das doses de N, levando a crer que houve acréscimo no número de grana e de tilacóides por granum e não uma redução na síntese de CHL_a .

O uso do colorímetro para avaliar a coloração verde das folhas de batata foi testado por Amarante et al. (2008). Esses autores, à semelhança do ocorrido no presente experimento, verificaram aumento do ângulo hue ($^{\circ}$ h) e redução da cromaticidade e brilho com o incremento nos teores de clorofila nas folhas, indicando haver uma mudança de coloração de amarelo (folha clorótica) para verde intenso. O ângulo hue variou entre 111 e 120, representando valores entre a coloração amarela e verde (Voss, 1992).

Verificou-se o decréscimo do IFLV com o aumento das doses de N. Decréscimos do teor de flavonóis, determinado com o Dualex, com o aumento das doses de N também foram verificados para a cultura do trigo (Cartelat et al., 2005; Tremblay et al., 2009), milho (Huan et al., 2010) e brócolis (Fortier et al., 2010). A produção e o acúmulo de polifenóis pelas plantas aumentam sob condições de estresse, principalmente quando o uso do carbono para o crescimento ou reprodução da plantas é reduzido pela falta de nutrientes (Kandil et al., 2004). Quando o N limita o crescimento, há acúmulo de carboidratos nos tecidos das plantas de acordo com a hipótese do balanço de carbono/nutrientes (Bryan et al., 1983). Esse acúmulo de carboidratos irá direcionar o carbono para a síntese de metabólitos secundários, como os polifenóis e terpenos, estimulando a síntese dos mesmos (Hamilton et al., 2001). Como ambos, clorofila e polifenóis, apresentam correlação com a concentração de N, Cartelat et al. (2005) sugeriram que a relação Chl/Flv pode ser um bom indicador para avaliar o estado de N das plantas de trigo. Segundo aqueles autores, ao se trabalhar com a relação, pode-se diminuir o problema do gradiente existente na folha dos conteúdos de clorofila e polifenóis. A relação corresponde à proporção relativa de massa seca de folhas investido em CHL e Phen (Demotes-Mainardi et al., 2008).

Utilizando-se os 20 pares de dados, verificou-se que houve correlação linear positiva entre as características analisadas na QF da batateira e o número de tubérculos totais e as produções total e comercial de tubérculos, sendo verificada uma elevada correlação tanto nas determinações realizadas aos 21 DAE quanto aos 42 DAE. Em avaliação feita durante o ciclo da cultura da batata, Gil et al. (2002) e Coelho et al. (2010) observaram que os valores SPAD na folha correlacionaram-se com a

quantidade de N adicionada e com a produção de tubérculos de batata. O aumento do valor do índice SPAD devido à adubação nitrogenada mostra a relação entre o N e a intensidade de cor verde da planta, a maior síntese de clorofila (Taiz & Zeiger, 2009) e ao aumento da atividade fotossintética, possibilitando o aumento da produção (Stone et al., 2002; Singh et al., 2011). O clorofilômetro SPAD tem a capacidade de detectar o aparecimento da deficiência de N antes que seja visível ao olho humano, e cedo o suficiente para permitir corrigir a deficiência, sem redução na produtividade (Samborski et al., 2009), desde que não haja interrupção indesejada do ciclo e outros fatores não se tornem limitantes.

Ao contrário do observado no presente trabalho, Tremblay et al. (2009) encontraram nas leituras realizadas pelo Dualex, uma maior correlação com a produtividade em comparação as leituras realizadas pelo SPAD, sendo que a relação CHL/FLV foi a variável que melhor se correlacionou com a produtividade.

5. RESUMO E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 1

Objetivou-se determinar a dose ótima de N para a máxima produtividade física e econômica de tubérculos da batateira, estimar o valor do nível crítico de índices do estado de N na folha de batata e correlacionar os valores dos índices com a produtividade de tubérculos. Os experimentos foram conduzidos nas épocas de plantio “de inverno” e “das águas”, na Horta de Pesquisas do Departamento de Fitotecnia, em delineamento em blocos ao acaso com 4 repetições, sendo os tratamentos constituídos de 5 doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹) aplicadas em pré-plantio, utilizando uréia. A cultivar de batata utilizada foi a Ágata. Aos 21 e 42 dias após a emergência (DAE) foram determinados os índices SPAD (SPAD-502), ângulo hue, cromaticidade (C), luminosidade (L) com o colorímetro Minolta CR-10, índices de flavonóis (IFLV), de clorofila (ICHL) e balanceado de N (IBN) com o Dualex[®] na quarta folha a partir do ápice (QF) da batateira. Nestas mesmas épocas, foram determinados os teores e conteúdos de nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio orgânico (Norg) e total (N_{total}) e os teores extraíveis de clorofila a (CHL_a), b (CHL_b) e total (CHL_{total}) na QF.

Conclui-se que:

– as produtividades de máxima eficiência física foram obtidas com as doses de 254 ou 282 kg ha⁻¹ de N nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente.

- a aplicação de 252 e 279 kg ha⁻¹ de N proporciona a máxima eficiência econômica na produtividade de tubérculos de batata, nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente.

- todos os índices avaliados aos 21 e 42 DAE foram significativamente influenciados por doses de N, nas épocas “das águas” e “de inverno” e correlacionaram-se com as produtividades total, comercial e número de tubérculos com coeficiente de correlação significativos e variando de 0,43 a 0,90;

- todos os índices avaliados na QF da batateira aos 21 e 42 DAE correlacionaram com a produtividade comercial de tubérculos, no entanto o SPAD foi o único índice que apresentou coeficiente de correlação acima de 0,83 nas duas épocas de avaliação e em ambas épocas de plantio;

- aos 21 DAE, o nível crítico do índice SPAD na QF associado à dose de N para a máxima eficiência econômica foi 45,4 e 46,5, nas épocas “de inverno” e “das águas”, respectivamente; os valores correspondentes para o teor de N_{total} na massa da matéria seca da QF foram 53,6 e 49,9 g kg⁻¹, respectivamente;

- o IFLV, ICHL e IBN determinados na QF aos 21 e 42 DAE, na safra “das águas”, correlacionou-se com os teores de N, clorofila extraível e produtividade de tubérculos de batata apresentando-se como alternativas viáveis para o diagnóstico do estado de N da batateira e prognóstico da produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA – Associação Brasileira da Batata. Variedades. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2008/variedades.asp>>. Acesso em: 18/06/2011.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. 16. ed. FNP Consultoria & Agroinformativos, 2011. 516 p.

ANDREU, M.A. Associação entre características agronômicas da batata nos plantios de primavera e outono no Rio Grande do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 925-929, 2005.

ALLEN, R.G. New approaches to estimating crop evapotranspiration. **Acta Horticulturae**, v. 335, p. 287-293, 1993.

AMARANTE, C.V.T.; BISOGNIN, D.A.; STEFFENS, C.A.; ZANARDI, O.Z.; ALVES, E.R. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 471-475, 2008.

ARREGUI, L. M.; MERINA M.; MINGO-CASTEL, A. M. Aplicacion del medidor portátil de clorofila em los programas de fertilizacion nitrogenada en patata de siembra. In: PASCUALENA, J.; RITTER, E. (Ed). **Libro de Actas Del Congreso Iberoamericano de Investigacion y Desarrollo em Patata**. Vitoria-Gastéis: [s. l.], 2000. p. 157-170.

AZIA, F. & STEWART, K.A. Relationships between extractable chlorophyll and SPAD values in muskmelon leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 961-966, 2001.

BARCELOS, D. M.; GARCIA, A.; MACIEL JÚNIOR, V. A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação

nitrogenada em cobertura, em um latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 21-27, jan./fev. 2007.

BÉLANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Yield response of two potato cultivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick. **American Journal of Potato Research**, v.77, p.11-21, 2000.

BÉLANGER, M.; VIAU, A. A.; SAMSON, G.; CHAMBERLAND, M. Near-field fluorescence measurements for nutrient deficiencies detection on potatoes (*Solanum tuberosum* L.): effects of the angle of view. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 19, p. 4181-4198, 2006.

BLACKMER, T.M. & SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, p. 1791-1800, 1994.

BULLOCK, D.G. & ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 741-755, 1998.

BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 2007. 129p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BUSATO, C.; FONTES, PC.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 14, p. 2148-2156, 2010.

BRYANT, J.P.; CHAPIN, F.S.; KLEIN, D.R. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. **Oikos**, v. 40, p. 357-368, 1983.

CARDOSO, A. D. **Produtividade e qualidade de tubérculos de batata sob diferentes parcelamentos e doses da adubação mineral**. 2007. 109p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CARTELAT, A.; CEROVIC, Z.G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; LELARGE, C.; PRIOUL, J.L.; BARBOTTIN, A.; JEUFFROY, M.H.; GATE, P.; AGATI, G.; MOYA, I. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) **Field Crops Research**, v. 91, p. 35-49, 2005.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E. & YOUNES, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic

acid. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 71-80, 1975.

CEROVIC, Z.G.; SAMSON, G.; MORALES, F.; TREMBLAY, N.; MOYA, I. Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: Present state and prospects. **Agronomie**, v. 19, p. 543-578, 1999.

CEROVIC, Z.G.; OUNIS, A.; CARTELAT, A.; LATOUCHE, G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; MOYA, I. The use of chlorophyll fluorescence excitation spectra for the non-destructive *in situ* assessment of UV-absorbing compounds in leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 1663-1676, 2002.

CHAMBENOIT, C.; LAURENT, F.; MACHET, J.M.; SCHEURER, O. (Coord.). **Fertilisation azotée de la pomme de terre**. Paris: Inra, 2002. 128p.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L. & SMITH, D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, spad, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1173-1194, 2001.

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO A. C. **Análise química do solo**. 2 ed. Viçosa-MG: UFV, 1997. 26 p.

DEMOTES-MAINARD, S.; BOUMAZA, R.; MEYER, S.; CEROVIC, Z.G. Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents, **Scientia Horticulturae**, v. 115, p. 377-385, 2008.

DUNCAN, R.R.; BALIGAR, V.C. Genetic and physiological basis of nutrient uptake and use efficiency: an overview. In: R.R. Duncan & V.C. Baligar (eds.). **Crops as enhancers of nutrient use**. Academic Press, New York, 1991. pp. 238-282.

DYNIA, J.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrato em latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 885-862, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FLORI, J.E.; REZENDE, G.M. de. Produtividade de genótipos de batata inglesa tolerantes ao calor em duas épocas de plantio, no vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 2, p. 122-125, 2000.

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

FONTES, P.C.R.; RONCHI, C.P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1421-1429, 2002.

FONTES, P.C.R. Cultura da batata. In: FONTES, P.C.R. (ed.). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2005. p. 39-55.

FONTES, P.C.R. & ARAÚJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 148 p.

FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. **Potato Research**, v.53, p.167-179, 2010.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Arka Editora, 2011. 296 p.

FORTIER, E.; DESJARDINS, Y.; TREMBLAY, N.; BÉLEC, C.; CÔTÉ, M. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on broccoli polyphenolics concentration. **Acta Horticulturae**, v. 856, p. 55-62, 2010.

GIL, P.T. de. **Índices e eficiência de utilização de nitrogênio pela batata influenciados por doses de nitrogênio em pré-plantio e em cobertura**. 2001. 81p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

GIL, P.A. de; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R. & FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

GROVER, A.; MOHANTY, P. Leaf senescence-induced alterations in structure and function of higher plant chloroplasts. In: ABROL, Y.P.; MOHANTY, P.; GOVINDJEE, A. (eds.). **Photosynthesis: photoreactions to plant productivity**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1993. 225 p.

HAMILTON, J.G., ZANGERL, A.R.; DELUCIA, E.H.; BERENBAUM, M. R. The carbon-nutrient balance hypothesis: its rise and fall. **Ecology Letters**, v. 4, p. 86-95, 2001.

HAWKINS, T.S.; GARDINER, E.S.; COMER, G.S. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. **Journal for Nature Conservation**, v. 17, p. 123-127, 2009.

HORTON, D. **Potatoes: production, marketing, and programs for developing countries**. Londres: IT Publications, p. 36-47, 1987.

HUAN, Y.U.; HUA-SONG, W.U.; WANG, Z.J. Evaluation of SPAD and Dualex for in-season corn nitrogen status estimation. **Acta Agronomica Sinica**, v. 36, p. 840-847, 2010.

INSKEEP, W.P.; BLOOM, P.R. Extinction coefficients of chlorophyll *a* e *b* in N,N Dymethylformamide and 80% acetone. **Plant Physiology**, v.77, p.483-485, 1985.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1958. 498p.

KANDIL, F.E.; GRACE, M.H.; SEIGLER, D.S.; CHEESEMAN, J.M. Polyphenolics in *Rhizophora mangle* L. leaves and their changes during leaf development and senescence. **Trees**, v. 18, p. 518–528, 2004.

KITATIMA, K.; HOGAN, K.P. Increases of chlorophyll *a/b* ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. **Plant, Cell and Environment** , v. 26, p. 857-865, 2003.

KOEPPEN, W. **Climatologia**. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Gráfica Panamericana, 1948. 478p.

KOLBE, H. & BECKMANN, S.E. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). I. leaf and stem. **Potato Research**, v. 40, p. 111-129, 1997.

KOURIL, R.; ILIK, P.; NAUS, J.; SCHOEFS, B. On the limits of the applicability of spectrophotometer and spectrofluorimetric methods for the determination of chlorophyll *a/b* ratios. **Photosynthesis Research**, v. 62, p. 107-116, 1999.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RiMa, 2000. 531p.

LEMAGA, B.; CAESAR, K. Relationships between numbers of main stems and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Erntestolz) as

influenced by different day lengths. **Potato Research**, Wageningen, v. 33, p. 257-267, 1990.

LEON, A.P.; VIÑA, S.Z.; FREZZA, D.; CHAVES, A.; CHIESA, A. Estimation of chlorophyll contents by correlations between spad-502 meter and chroma meter in butterhead lettuce. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 19/20, p. 2877-2885, 2007.

MADEIRA, A.C; MENDONCA, A.; FERREIRA, M.E. & TABORDA, M. Relationship between spectroradiometric and chlorophyll measurements in green beans. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, p. 631-643, 2000.

MADEIRA, A.C.; FERREIRA, A.; VERENNES, A.; VIEIRA, M.I. SPAD Meter versus tristimulus colorimeter to estimate chlorophyll content and leaf color in sweet pepper. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 17/18, p. 2461-2470, 2003.

MAHMOODABAD, R.Z.; SOMARIN, S.J.; KHAYATNEZHAD, M.; GHOLAMIN, R. Correlation of tuber yield whit yield components of potato affected by nitrogen application rate in different plant density. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, n.1, p. 131-135, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MENEZES, C.B.; PINTO, C.A.B.P.; NURMBERG, P.L.; LAMBERT, E.S. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras “das águas” e de inverno no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 776-783, 1999.

MEYER, R.D.; MARCUM, D.B. Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.31, p.420-429, 1998.

McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria nº 69 de 21 de fevereiro de 1995. **Norma de identidade, qualidade, acondicionamento e embalagem da batata para fins de comercialização**.

NEVES, O.S.C.; CARVALHO, J.G. de; MARTINS, F.A.D.; PÁDUA, T.R.P. de & PINHO, P.J. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 517-521, 2005.

NUNES, J.C.S.; FONTES, P.C.R.; ARAUJO, E.F.; SEDIYAMA, S. C. Potato plant growth and macronutrient uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12. p. 1787-1792, 2006.

PAULA, A.D. de. **Acúmulo de massa seca e nitrogênio durante o crescimento e desenvolvimento da cultura da batata**. 2005. 37p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

PEREIRA, J.T.; SILVA, M.C.L.; FRANÇA, L.G.E.; WANDERLEY, L.J.G.; MELO, J.N.; SILVA, R.J.V. **Avaliação de cultivares de batatinha (*Solanum tuberosum* L.) no Agreste de Pernambuco**. Recife: IPA, 1993. 7 p. (Comunicado técnico, 47).

RODRIGUES, F.A.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G. & MARTINEZ, H.E.P. Crescimento e teor crítico de N-NO₃ na seiva da batateira cultivada em solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 766-767, 2000.

RODRIGUES, M.A.; COUTINHO, J.; MARTINS, F.; ARROBAS, M. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. **European Journal of Agronomy**, v.23, p.79-88, 2005.

SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 800-816, 2009.

SAMDUR, M.Y.; SINGH, A.L.; MATHUR, R.K.; MANIVEL, P.; CHIKANI, B.M.; GOT, H.K. & KHAN, M.A. Field evaluation of chlorophyll meter for screening groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes tolerant to iron-deficiency chlorosis. *Current Science*, v. 79, p. 211-214, 2000.

SCHOEFS, B.; BERTRAND, M.; LEMOINE, Y. Changes in the photosynthetic pigments in bean leaves during the first photoperiod of greening and the subsequent dark phase: comparison between old (10-d-old) leaves and young (2-d-old) leaves. **Photosynthesis Research**, v. 57, p. 203-213, 1998.

SINGH, V.; SINGH, Y.; SINGH, B.; THIND, H.S.; KUMAR, A.; VASHISTHA, M. Calibrating the leaf colour chart for need based fertilizer nitrogen management in different maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Field Crop Research**, v. 120, n. 2, p. 276-282, 2011.

SILVA, M.C.C.; COELHO, F.S.; BRAUN, H.; FONTES, P.C.R. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 971-977, 2011.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; MIRANDA, G.V. Índice spad e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 17-22, 2009.

SILVA, M.C.L.; PEREIRA, J.T.; MELO, J.N.; LIMA, L.E.; WANDERLEY, L.J.G.; CEZAR, F. **O cultivo da batatinha (*Solanum tuberosum* L.) em condições de sequeiro no Agreste de Pernambuco**. Recife: IPA, 1993. 9 p. (Comunicado técnico, 47).

STONE, L. F.; SILVA, G. de M. E. & MOREIRA, J. A. A. Uso do clorofilômetro SPAD-502 na estimativa do nitrogênio foliar específico e da produtividade do feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., Viçosa, 2002. **Resumos...** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 743-746.

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W. do.; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 848p.

TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BÉLEC, C. Performance of dualox in spring wheat for crop nitrogen status assessment, yield prediction and estimation of soil nitrate content. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, p. 57-70, 2009.

VOSS, D.H. Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society colour chart. **HortScience**, v. 27, p. 1256-1260, 1992.

WALKLEY, A.; BLACK, L. A. An examination Degtjareff method of determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Philadelphia, v. 37, p. 29-38, 1934.

WESTERMANN, D.T.; KLEINKOPF, G.E. Nitrogen Requirements of Potatoes. **Agronomy Journal**. v.77, p. 616– 621, 1985.

WHITE, R.P. & SANDERSON, J.B. Effect of planting date, nitrogen rate, and plant spacing on potatoes grown for processing in Prince Edward Island. **American Potato Journal**, v. 60, p. 115-126, 1983.

WILLIAMS, C.M.J. & MAIER, N.A. Determination of the nitrogen status of irrigated potato crops. I. Critical nutrient ranges for nitrate-nitrogen in petioles. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, p. 971-984, 1990.

ZEBARTH, B.J.; TAI, G.; TARN, R.; JONG, H. de. & MILBURN, P.H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 589-598, 2004.

ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E.; PICCININ, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M.; TORRES, E.; ALVES, B. Calibration of a Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for evaluation of the nitrogen nutrition of maize. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 38, p. 1117–1122, 2003.

CAPÍTULO 2

Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de nitrogênio em cobertura e reflexos sobre a lucratividade e índices de eficiência na cultura da batata, em duas épocas de plantio

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) influencia o padrão de desenvolvimento das plantas, estimulando, principalmente, o crescimento da parte aérea. No caso da batata, a produção de tubérculos ocorre num rápido e curto período de desenvolvimento, simultâneo ao da parte aérea. Desta forma, para maximizar a produtividade de tubérculos, a planta necessita acumular fotoassimilados nas folhas e em seguida transferi-lo aos tubérculos.

Na cultura da batata, assim como para muitas outras culturas, o aumento na eficiência agronômica do uso do N tem se tornado fator crucial, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Além disso, nos últimos anos tem ocorrido o aumento nos preços dos fertilizantes, principalmente os nitrogenados, não ocorrendo o mesmo no preço pago aos produtores pela venda da batata.

Levando-se em conta que do total de N aplicado no solo em pré-plantio, cerca de 40 a 70 % é absorvido pelas plantas de batata (Tyler et al., 1983; Zebarth et al., 2004), o restante é imobilizado e/ou perdido. As perdas de N que ocorrem no sistema são substanciais, tornando-se possível a contaminação dos cursos de água e lençóis freáticos pela lixiviação de

nitrato, além de problemas do efeito estufa pela volatilização de N_2O e NH_3 (Bélanger et al., 2003).

É postulado que melhoria do uso de N pode ser conseguida pelo fornecimento deste de acordo com o requerimento da cultura, durante o seu estágio de crescimento, fracionando a fertilização nitrogenada. Esse procedimento pode ser executado utilizando-se a planta como indicadora da necessidade de N, pelo monitoramento do estado nutricional da planta (Vos & MacKerron, 2000; MacKerron, 2000; Shepherd, 2000). Em geral, produtores de batata aplicam todo o N no plantio ou aplicam uma dose no plantio e uma em cobertura, antes da operação da amontoa (20 a 30 dias após o plantio). Davenport et al. (2005) recomendam o uso do parcelamento da adubação nitrogenada na cultura da batata, pois esse procedimento proporciona algumas vantagens como: menor perda por lixiviação, menor perda por volatilização e redução do efeito salino. Steiber & Mahler (2003) recomendam parcelar o N em até cinco vezes durante o ciclo da cultura, principalmente em solos de textura arenosa, pelo fato de a batata apresentar um sistema radicular relativamente superficial quando comparado com outras culturas (Alva et al., 2011). Além disso, a cultura da batata é considerada como sendo planta exigente em N (4-6 kg de N por tonelada de massa fresca de tubérculos produzidos), sendo a absorção lenta no início e só se tornando mais intensa cerca de 15 dias após a emergência (Westermann & Kleinkopf, 1985; Nunes et al., 2006).

A tomada de decisão de realizar a adubação em cobertura pode ser feita pela avaliação do estado de N da batata via análise do teor de N na massa da matéria seca das folhas ou via determinação indireta do teor de clorofila pelo SPAD-502 (Fontes, 2011). Um dos primeiros estudos utilizando o clorofilômetro SPAD na cultura da batata foi de Vos & Bom (1993). Desde então, vários trabalhos com a cultura da batata têm demonstrado haver correlação entre as leituras com o SPAD e os teores de clorofila e N determinados por métodos analíticos de extração (Gil et al., 2002; Rodrigues, 2004; Gianquinto et al., 2004; Busato et al., 2010; Coelho et al., 2010). A versão SPAD-502 Plus possui um coletor de dados que pode ser integrado ao GPS e suas leituras, combinadas com imagens multiespectrais da planta remotamente sensoriada, permite expandir o uso do clorofilômetro

para áreas extensas, conforme feito para o milho (Miao et al., 2009; Fontes, 2011).

O índice SPAD, medido pelo clorofilômetro, pode ser indicativo da necessidade de aplicação do N, desde que seja conhecido o nível abaixo do qual a planta estaria deficiente ou nível crítico. Entretanto, é sabido que além do teor de N na planta, outros fatores podem afetar os valores do índice SPAD, como as condições edafoclimáticas, ano, local, cultivar e outros fatores, impossibilitando estabelecer um valor fixo universal de nível crítico (Bullock & Anderson, 1998; Fontes et al., 2011).

Na tentativa de viabilizar a utilização do clorofilômetro universalmente, Schepers et al. (1992) propuseram, para a cultura do milho, a instalação de uma área de referência na lavoura. Essa área seria adubada com dose não limitante de N, maior que a máxima normalmente recomendada para a cultura, para permitir o desenvolvimento da concentração máxima de clorofila nas folhas. Com essa premissa, foi sugerido usar o índice de suficiência de N (ISN), obtido pela relação entre as medidas obtidas com o clorofilômetro nas plantas representativas da área a ser avaliada na lavoura e nas plantas da área de referência (possivelmente sem deficiência de N e, talvez, com excesso de N). O uso do ISN é uma normatização das leituras do clorofilômetro para eliminar os possíveis erros inerentes a diferentes solos, condições climáticas, cultivar e outros fatores que podem influenciar as leituras com o aparelho, inviabilizando a utilização de um nível crítico universalmente utilizado (Singh et al., 2010)

Geralmente, a planta é considerada deficiente em N quando o ISN atinge 90 ou 95 % do valor da leitura obtida nas plantas da área de referência (Varvel et al., 1997). Com esse procedimento, foi proposto a chamada “adubação quando necessária” (Schepers et al., 1992). Alguns autores têm utilizado esse critério. Godoy et al. (2003) verificaram para a cultura do milho e do pimentão que o ISN foi bom indicador do momento de aplicação do adubo nitrogenado, podendo auxiliar no ajuste da dose de N. Varvel et al. (1997) empregaram o critério de determinar o ISN na cultura do milho com o clorofilômetro e verificaram aumento da eficiência do uso do N através do parcelamento da adubação.

Apesar do valor de ISN ser mais facilmente calibrado para cada situação do que o valor do nível crítico, ainda fica a incerteza de qual valor de ISN utilizar, isto é sinônimo de qual dose de N deve-se colocar na parcela de referência (Fontes et al., 2011). Assim, a dose a ser utilizada na parcela de referência precisa ser ajustada de acordo com o recurso disponível para ser empregado na compra do adubo nitrogenado, nível tecnológico e experiência do produtor ou técnico responsável, entendendo que quantidade excessiva de N pode reduzir a produtividade de tubérculos de batata e propiciar condições para a lixiviação e decréscimo no lucro do produtor (Fontes, 2011).

Apesar do clorofilômetro já ser utilizado com sucesso em diversas culturas, ainda são poucos os trabalhos que o utilizam para indicar a quantidade de N a ser aplicada, como os de Araújo et al. (2004) e Rambo et al. (2007). Recentemente, Reis et al. (2006) desenvolveram estudo com o objetivo de gerar uma curva de recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do café com base no índice SPAD. Scharf et al. (2006) e Hawkins et al. (2007) utilizaram a técnica do índice de suficiência de N para o diagnóstico do estado nutricional e posterior indicação das doses a serem aplicadas na cultura do milho nos Estados Unidos. No entanto, com base neste mesmo princípio, Denuit et al. (2002) verificaram que o uso da parcela bem adubada não foi eficiente para determinar a suplementação nitrogenada na cultura da batata.

Dessa maneira, objetivou-se utilizar o clorofilômetro como instrumento indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura e verificar o reflexo deste manejo na produtividade, lucratividade e eficiência do uso do N na cultura da batata, em duas épocas de plantio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização das áreas experimentais

Foram conduzidos dois experimentos na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O experimento 1 foi conduzido no período de inverno (“safra de inverno”), de 27 de maio a 04 de setembro de 2010. O experimento 2 foi conduzido no período chuvoso (“safra das águas”), no período de 10 de novembro de 2010 a 11 de fevereiro de 2011 em área contígua àquela utilizada no experimento 1.

O município de Viçosa apresenta altitude de 693 m, latitude sul 20° 45', longitude oeste 42° 51' e classificação climática de Koeppen (1948) do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Os dados climáticos foram coletados diariamente na estação meteorológica da UFV, localizada a 3 km da área experimental (Figuras 1 e 2).

O solo onde foram instalados os experimentos foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico (Embrapa, 1999) e, anteriormente à instalação dos experimentos, coletaram-se amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade para a determinação das características químicas e físicas (Tabelas 1).

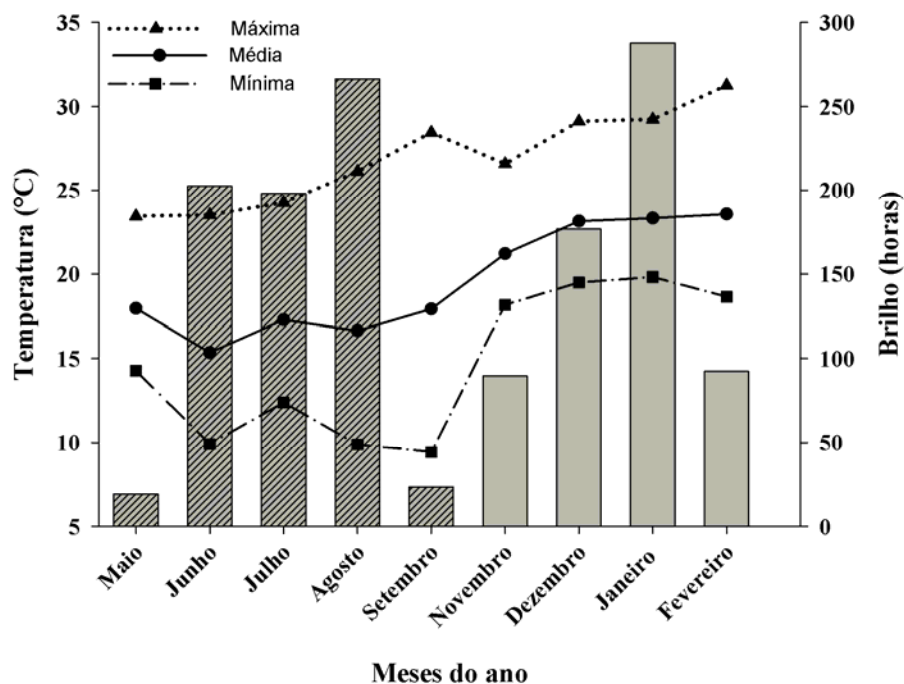


Figura 1. Brilho acumulado e médias das temperaturas máxima, mínima e média durante o período experimental das safras de inverno (maio a setembro de 2010) e verão (novembro de 2010 a fevereiro de 2011). Viçosa-MG.

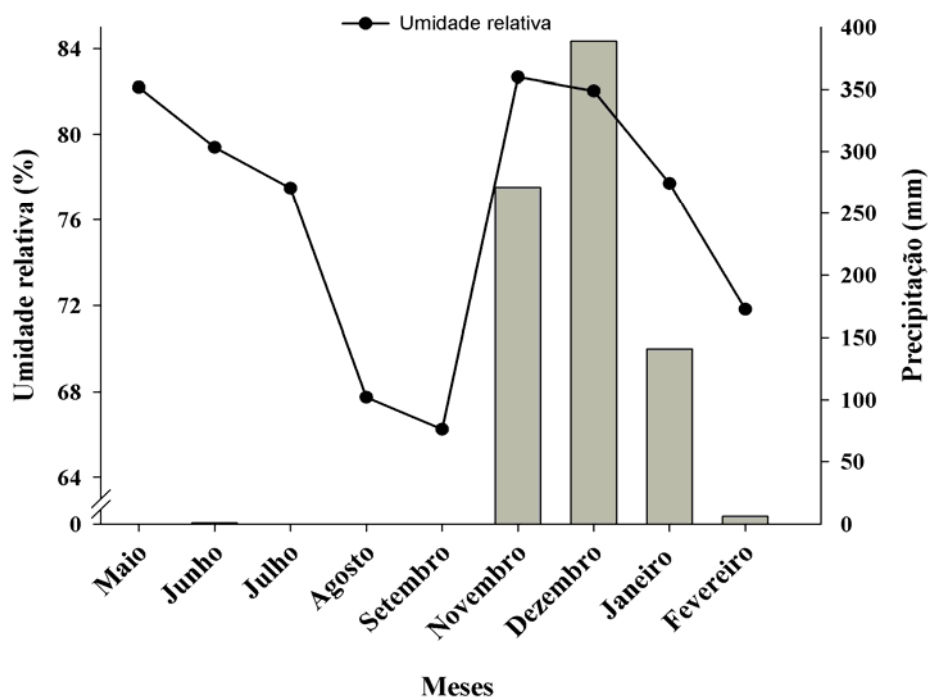


Figura 2. Precipitação acumulada e umidade relativa média do ar durante o período experimental das safras de inverno (maio a setembro de 2010) e verão (novembro de 2010 a fevereiro de 2011). Viçosa-MG.

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos, nas safras “de inverno” e “das águas”.

Caractérisicas químicas	Safras	
	“de inverno”	“das águas”
pH em água – 1:2,5	5,2	6,3
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ¹	1,4	1,4
P disponível (mg dm ⁻³) ²	2,8	4,4
K disponível (mg dm ⁻³) ²	13	39
Ca ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	0,1	0,6
Mg ⁺² trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	0,1	0,2
Acidez trocável - Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³) ³	0,5	0,0
Acidez potencial – H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁴	3,3	3,3
Soma de bases – SB (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,9
CTC efetiva – t (cmol _c dm ⁻³)	0,7	0,9
CTC a pH 7 – T (cmol _c dm ⁻³)	3,5	4,2
Saturação por bases – V (%)	7	21
Características físicas ⁵		
Areia (dag g ⁻¹)	-----	35 -----
Silte (dag g ⁻¹)	-----	14 -----
Argila (dag g ⁻¹)	-----	51 -----
Classificação textural	-----	Argiloso -----

¹ Matéria orgânica = carbono orgânico x 1,724 (WALKLEY e BLACK, 1934).

² Extrator Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

³ Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

⁴ Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

⁵ Método da pipeta, dispersão NaOH 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1999).

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, sendo os tratamentos constituídos de 5 doses de N (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco em pré-plantio, com 4 repetições. Como fonte de N foi utilizada a uréia (44% de N). Cada parcela foi constituída de duas fileiras com doze plantas cada, espaçadas de 0,75 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, com dimensões de 3,0 m de comprimento e 1,0 m de largura.

Consideraram-se como bordaduras as duas plantas das extremidades das fileiras, restando 20 plantas úteis por parcela.

Aos 21 dias após a emergência (DAE), três plantas foram amostradas aleatoriamente para a realização das leituras com o medidor portátil SPAD-502 (Soil-Plant Analysis Development-502). A medição foi feita no folíolo terminal da quarta folha completamente expandida a partir do ápice da planta (QF) entre 8:00 e 11:00 horas da manhã, evitando-se realizar leituras na nervura central dos folíolos. Em cada folha foram realizadas três leituras, a partir das quais foi calculada a média. A média das leituras realizadas na QF das três plantas representou o valor da parcela. Com base nessas leituras, calculou-se o índice de suficiência de N (ISN) pela relação entre o valor de SPAD medido na folha de plantas dos tratamentos (LPT) pelo valor medido na folha de plantas adubadas com a maior dose de N (LPR), considerada como área de referência ($ISN = LPT/LPR$) por ter maior probabilidade de não haver deficiência de N na parcela adubada com 300 kg ha^{-1} de N.

A partir das leituras do índice SPAD nas plantas que receberam doses crescentes em pré-plantio (NPPL) e do cálculo do ISN, foi estabelecido a necessidade da adubação de cobertura (ACOB) quando o valor de ISN foi menor que 0,95 (Tabela 3). Em cada tratamento, a quantidade de N aplicada em cobertura (NCOB), quando o valor do ISN foi inferior a 0,95 foi calculada pela Equação 1. Quando o ISN foi maior do que 0,95, apesar de não ser necessário ACOB, segundo o critério adotado, aplicou-se 60 kg ha^{-1} de N, seguindo-se as recomendações para a adubação em cobertura na cultura da batata para o Estado de Minas Gerais (Fontes, 1999). Nesse caso, a adubação em cobertura foi realizada apenas na metade da parcela, sendo que a outra metade não recebeu o adubo nitrogenado em cobertura. Tal procedimento foi adotado para avaliar a frequência de acerto no diagnóstico, baseando-se no estudo do diagnóstico falso/verdadeiro de Beverly e Hallmark (1992). O fertilizante foi aplicado em cobertura, a 10 cm ao lado das plantas, ao longo da fileira, aos 22 DAE, realizando-se em seguida a amontoa.

$$\text{Dose N} = \frac{(\text{SPAD } N_{\text{referência}} - \text{SPAD } N_x)}{0},6 \times 21$$

Equação (1)

Nesta equação, Dose N = dose de N a ser aplicada em cobertura em kg ha⁻¹; SPAD N_{referência} = leitura do índice SPAD nas plantas da parcela de referência (300 kg ha⁻¹ de N); SPAD N_x = leitura do índice SPAD nas plantas das parcelas que receberam a dose N_x; 0,6 foi considerada como a eficiência de recuperação de N pela planta de batata; 21 é a dose média (kg ha⁻¹) necessária para elevar cada unidade SPAD na quarta folha da batateira, tendo sido obtida pela relação entre doses de N e índice SPAD estabelecidas nos trabalhos realizados por Silva (2007), Gil (2001), Busato (2007) e Coelho et al. (2010), com diferentes cultivares e condições experimentais (Tabela 2).

Tabela 2. Equações e dose de N (kg ha⁻¹) para elevar uma unidade SPAD na folha da batata, estimadas por diversos autores em trabalhos realizados em Viçosa- MG.

Autores	Cultivar	Equação	Dose N (kg/ha)
Silva	Monalisa	Y = 32,86+0,082636N-0,00017538N ²	12,1
Gil	Monalisa	Y = 37,602+0,07284N-0,000153N ²	13,7
	Monalisa	Y = 34,97+0,08083N-0,00015917N ²	12,4
Busato	Atlantic	Y = 36,4+0,0807781N-0,0001346N ²	12,4
	Ágata	Y = 36,44-0,056277N-0,00010198N ²	17,8
	Asterix	Y = 42,2901-0,057099N-0,000987N ²	17,5
Coelho	Ágata	Y = 34,1+0,032624N-0,000037N ²	30,6
	Asterix	Y = 35,4+0,82017N ^{0,5} -0,018413N ²	54,3
Média			21,3

Tabela 3. Dose de nitrogênio (N) aplicada em pré-plantio (NPPL), índice SPAD, índice de suficiência de N (ISN), necessidade detectada de aplicação em cobertura (ACOB), dose de N em cobertura (NCOB) e dose total aplicada (NTOT) na batata, aos 21 dias após a emergência, nas safras “de inverno” e das “águas”.

NPPL (kg ha ⁻¹)	Índice SPAD	ISN	Necessidade de ACOB	NCOB (kg ha ⁻¹)	NTOT (kg ha ⁻¹)
Safras “de inverno”					
0	38,58	0,83	Sim	275	275
50	40,43	0,87	Sim	210	260
100	42,00	0,91	Sim	155	255
200	43,97	0,95	Não	60*	260
300	46,44	1,00	Não	60*	360
Safras “das águas”					
0	37,67	0,80	Sim	318	318
50	38,07	0,81	Sim	265	315
100	40,42	0,87	Sim	182	282
200	44,94	0,96	Não	60*	260
300	46,75	1,00	Não	60*	360

*Apesar do ISN ter sido maior que 0,95, indicando não ser necessário a adubação, aplicou-se o N em cobertura devido ao estudo de falso/verdadeiro (Beverly & Hallmark, 1992).

2.3. Instalação e condução dos experimentos no campo

Aos 45 dias antes da instalação dos experimentos, foi realizada a calagem com o objetivo de elevar a saturação por bases para 60 %. Para isso, aplicou-se 2,5 e 2,4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 76 % nos experimentos “de inverno” e “das águas”, respectivamente. A adubação, feita manualmente no sulco de plantio, consistiu de 1800 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18 % de P₂O₅), 384 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60 % de K₂O), 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio (10 % de Mg), 10 kg ha⁻¹ de bórax (10 % de B), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco (20 % de Zn), 10 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (24 % de Cu) e 0,5 kg ha⁻¹ de molibdato de sódio (39 % de Mo). A uréia e os demais adubos foram aplicados no sulco e misturados, sendo feito

o plantio logo em seguida. Além disso, foi feita a aplicação do inseticida Carbofuran.

A cultivar utilizada foi a Ágata, de origem holandesa, que é descrita como tendo hastes finas a moderadamente finas, ciclo precoce a muito precoce, folhas moderadamente grandes com folíolos largos e de cor verde intensamente clara; possui tubérculos ovais, casca amarela e predominantemente lisa, polpa de cor amarelo-clara e gemas superficiais, com aptidão culinária para cozinhar ou assar (ABBA, 2011). Devido ao alto potencial produtivo e precocidade, a Ágata é atualmente a principal cultivar plantada no Brasil.

O plantio foi realizado utilizando-se tubérculos de batata-semente certificada, com massa média de 70 g, previamente brotado, com broto de aproximadamente 3 cm. Não houve tratamento para quebra de dormências dos tubérculos. A amonta foi realizada aos 22 dias após a emergência das plantas.

A cultura foi conduzida segundo as recomendações de manejo descritas por Fontes (2005), com controle fitossanitário através de defensivos químicos com os ingredientes ativos Carbofuran, Deltametrina, Metamidofós, Cimoxanil, Mancozeb e Oxicloreto de Cobre. As irrigações foram por aspersão convencional, no período da manhã, com uma lâmina de água estabelecida a partir da estimativa da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultura (Kc). A estimativa de evapotranspiração de referência foi realizada pelo método de Penman-Monteith, proposto pela FAO (Allen, 1993), mantendo-se o solo com umidade próxima à capacidade de campo. A água utilizada na irrigação possuía 0,48 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ e 0,14 mg L⁻¹ de N-NH₄⁺.

2.4. Características avaliadas

2.4.1. Produtividade total, comercial e número de tubérculos

Aos 97 e 90 DAE, para a safra “de inverno” e “das águas”, respectivamente, e com as ramas completamente secas, quatro plantas de cada tratamento foram colhidas e os tubérculos arrancados. Os

mesmos permaneceram sobre o solo por duas horas para o secamento da película, sendo posteriormente levados para um galpão, onde foram separados em comerciais e não-comerciais, contados e pesados. Os tubérculos comerciais foram classificados de acordo com as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1995), em função do seu maior diâmetro transversal em: classe 1 (diâmetro maior ou igual a 8,5 cm); classe 2 (maior que 4,5 e menor que 8,5 cm); classe 3 (maior que 3,3 e menor que 4,5 cm) e classe 4 (menor ou igual a 3,3 cm). A produção comercial foi obtida somando-se as classes 1, 2 e 3. Os tubérculos não-comerciais foram considerados aqueles pertencentes à classe 4, além dos podres, atacados por pragas e doenças, com defeitos de esverdeamento, embonecamento ou rachaduras. Após a classificação, foram retiradas amostras de tubérculos comerciais de cada parcela, sendo pesadas e, posteriormente, colocadas em estufa a 70 °C, até atingirem massa constante. Os valores foram registrados para a determinação do teor de matéria seca (TMS) pela equação: $TMS = (MF/MS) \times 100$, em que TMS = teor de matéria seca (%), MF = massa da matéria fresca de tubérculos (g) e MS = massa da matéria seca de tubérculos (g).

Calculou-se o índice de produtividade comercial, dividindo-se a produtividade comercial pela produtividade total. Além disso, calculou-se o rendimento relativo dividindo-se a produção comercial observada em dado tratamento pela produção comercial de máxima eficiência econômica, e que foi estimada a partir da equação de regressão (Capítulo 1). Com os dados do índice de suficiência de N (ISN) obtidos nos tratamentos onde as diferentes doses de N foram aplicadas em pré-plantio, foi estabelecido a relação entre ISN e produtividade relativa de tubérculos comerciais de batata.

2.4.2. Análise econômica

Para os cálculos, foram utilizados os valores de cada tratamento. O custo de produção total (fixos e variáveis) adotado foi de R\$ 12.978,00 ou R\$ 14.000,00 para as safras das “águas” ou de “inverno”, respectivamente

(AGRIANUAL, 2011). Destes valores de custo foi subtraído o custo do adubo nitrogenado na forma de uréia, utilizando-se a dose de N como base para os cálculos de 252 kg ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2011). O preço médio adotado pago ao produtor pela venda da batata foi R\$ 46,11 ou 58,31 sc/50 kg, nas safras “das águas” ou de “inverno”, respectivamente (AGRIANUAL, 2011). O preço médio da uréia foi R\$ 1,33 kg⁻¹, em ambas as épocas, obtido no Instituto de Economia Agrícola de São Paulo, nos últimos seis anos (jan/2005 a jan/2011). O lucro bruto foi calculado multiplicando-se o preço obtido com a venda da batata (R\$ kg⁻¹) pela produtividade comercial da batata (receita) menos o custo de produção total (ALVAREZ V., 1994), não sendo contemplado o gasto com o transporte e aplicação do fertilizante.

2.4.3. Extração de N, índice de recuperação e eficiência no uso do N

Aos 65 e 62 DAE, para as safras de “inverno” e das “águas”, respectivamente, uma planta representativa de cada parcela foi colhida, entre 8:00 e 11:00 horas do dia seguinte à irrigação da cultura. As plantas foram levadas para o laboratório e separadas em parte aérea (caule + folhas) e tubérculos; esses órgãos foram pesados e colocados em estufa a 70 °C, até atingirem massa constante, para a obtenção da massa da matéria seca de cada órgão. Para o cálculo da biomassa total da planta, considerou-se um acréscimo de 25 % no peso da parte aérea, uma vez que é aceito que o peso das raízes e os estolões compreendem ¼ do peso da matéria seca da parte aérea (Beukema & Zaag, 1990). Posteriormente, essas amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh para a determinação do N-total pelo método Kjeldahl, determinado-se o teor de N por titulometria, após a destilação de amônia por arraste de vapor.

A partir dos dados de matéria seca e teor de N-total, foram calculadas as seguintes variáveis:

$$\text{Índice de colheita (IC)} = \frac{\text{MS}_{\text{tubérculos}}}{\text{MS}_{\text{planta}}}$$

$$\text{Total de N absorvido pela planta (TNAP)} = \text{QNPA } N_x + \text{QNTub } N_x$$

$$\text{Eficiência de recuperação N (ERN)} = \frac{(\text{QNtotal } N_x - \text{QNtotal } N_0)}{N_x} \times 100$$

$$\text{Eficiência do uso do N (EUSN)} = \frac{\text{MStubérculos em N}_x}{\text{N}_x + \text{Nsolo}}$$

Nas equações acima, MS = massa da matéria seca (kg ha^{-1}); N_x = dose de N aplicada em cada tratamento (kg ha^{-1} de N); Nsolo = teor original de N no solo (kg ha^{-1} de N-NO_3^-); QNPA N_x = quantidade de N da parte aérea da planta no tratamento x (kg ha^{-1} de N); QNTub N_x = quantidade de N nos tubérculos no tratamento N_x (kg ha^{-1} de N); QNtotal N_x = quantidade de N na planta toda no tratamento x (kg ha^{-1}); QNTotal N_0 = quantidade de N na planta toda do tratamento testemunha (kg ha^{-1}). O teor de N-NO_3^- no solo antes da instalação dos experimentos foi $8,2 \text{ kg ha}^{-1}$, determinado pelo método de Yang et al. (1998).

2.4.4. Acurácia do método proposto

Para se avaliar a precisão do critério utilizado para prescrever a adubação nitrogenada em cobertura, foi elaborada a Tabela 4, seguindo a metodologia de Beverly & Hallmark (1992) e Beverly (1993), a partir das 20 observações (20 parcelas) obtidas no presente experimento. O método baseia-se na comparação se a aplicação de N em cobertura (tratamento-teste) resultou em maior produtividade quando comparada com o tratamento sem a aplicação do N em cobertura (tratamento-controle). Os autores utilizaram a proposição do critério de incidência de diagnóstico falso (F) ou verdadeiro (V), onde para o diagnóstico ser considerado como V ou F dependeu de ter ou não havido resposta da produção com a adição do N em cobertura. A decisão de aplicar o fertilizante foi simbolizada como (+) e a de não adubar, com o sinal de (-), conforme Tabela 4.

Tabela 4. Avaliação do estado nutricional (AENu) da batateira pelo critério do ISN, indicação da aplicação de adubo em cobertura, resposta da produção e implicações da decisão tomada.

AENu	Aplicação de fertilizante	Símbolo	Resposta da produção	Falso ou Verdade	Implicação
Deficiente (ISN < 0,95)	Sim	+	Sim	V+	> Gasto \$ > Produção
Deficiente (ISN < 0,95)	Sim	+	Não	F+	> Gasto \$ ≤ Produção
Suficiente (ISN ≥ 0,95)	Não	-	Não	V-	< Gasto \$ ≥ Produção
Suficiente (ISN ≥ 0,95)	Não	-	Sim	F-	< Gasto \$ < Produção

Baseando-se nas informações da Tabela 4, quando a adição de N nas plantas do tratamento-teste, e que apresentaram ISN < 0,95 (estado nutricional determinado pelo ISN como insuficiente), resultou em aumento de produtividade, comparado com o tratamento-controle, observou-se que o estado nutricional fisiológico era deficiente e considerou-se como sendo verdadeira insuficiência (Vi); contrariamente, se não houve aumento de produtividade nas plantas do tratamento-teste, observou-se que o estado nutricional fisiológico era suficiente e considerou-se o diagnóstico como sendo falsa insuficiência (Fi). Ainda, quando a adição de N nas plantas do tratamento-teste, e que apresentaram ISN ≥ 0,95 (estado nutricional determinado pelo ISN como normal), resultou em aumento de produtividade, comparado com o tratamento-controle, observou-se que o estado nutricional fisiológico era deficiente e considerou-se o diagnóstico como sendo falso equilíbrio (Fe); contrariamente, se não houve aumento de produtividade nas plantas do tratamento-teste, observou-se que o estado nutricional fisiológico era suficiente e considerou-se como sendo um verdadeiro equilíbrio (Ve), conforme Tabela 5.

Tabela 5. Contagem de casos observados nas parcelas de acordo com o diagnóstico determinado pelo índice de suficiência de N e o estado nutricional fisiológico avaliado pela produtividade das plantas.

Estado nutricional determinado pelo ISN	Estado nutricional fisiológico	
	Deficiente	Suficiente
Insuficiente	Verdadeira Insuficiência (Vi)	Falsa Insuficiência (Fi)
Normal ou Equilibrado	Falso Equilibrado (Fe)	Verdadeiro Equilíbrio (Ve)

Baseado na distribuição dos diagnósticos verdadeiros ou falsos (Tabela 4), foi determinada a precisão através da fórmula:

$$Precisão = \frac{Vi + Ve}{Vi + Fi + Ve + Fe} \times 100$$

2.5. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se para a execução das análises estatísticas o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1), e as médias foram separadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 1 %.

3. RESULTADOS

3.1. Experimento da safra “de inverno”

3.1.1. Produção total, comercial e número de tubérculos

A decisão de se aplicar o N em cobertura de acordo com o índice SPAD proporcionou aumento significativo na produtividade total e comercial de tubérculos nas parcelas que receberam as doses 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N aplicadas em pré-plantio (Tabela 6). Assim, de acordo com o índice de suficiência determinado nas parcelas que receberam 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ (ISN < 0,95), seria necessário a complementação da adubação nitrogenada em cobertura o que foi confirmado pelo aumento da produtividade, implicando que a aplicação do fertilizante em cobertura foi apropriada (Tabelas 6 e 7). As parcelas que receberam as doses de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio apresentaram ISN > 0,95, indicando não ser necessário a adubação complementar com N, o que foi confirmado por não ter havido aumento significativo na produtividade (Tabelas 6 e 7).

A aplicação de N em cobertura tendeu a aumentar o índice de produção comercial de tubérculos (IPC), embora apenas no tratamento 100 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 155 kg ha⁻¹ de N em cobertura tenha havido diferença estatisticamente significativa (Tabela 6).

A aplicação do N em cobertura não influenciou o número total de tubérculos, exceto no tratamento onde foi aplicada a maior dose de N em pré-plantio (Tabela 6).

Analisando os dez tratamentos (5 doses de N em pré-plantio e 5 doses de N em cobertura advindas da recomendação obtida com as leituras

SPAD) verificou-se que as maiores produtividades comerciais de tubérculos de batata foram obtidas com 200 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura e 100 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 155 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 3).

Com a aplicação de toda a dose de N em pré-plantio, a máxima produtividade comercial foi 41,2 t ha⁻¹, obtida com 254,3 kg ha⁻¹ de N (Figura 4). Aplicando-se pequena quantidade de N em pré-plantio (0 a 100 kg ha⁻¹ de N) e não realizando a adubação de cobertura, a produção comercial ficou abaixo de 33 t ha⁻¹ (70 % da maior produtividade observada), sendo considerada neste caso baixa (Figura 4). No entanto, a aplicação de pequena dose de N em pré-plantio (50 e 100 kg ha⁻¹) complementada com a aplicação em cobertura (210 e 155 kg ha⁻¹ de N) proporcionou produtividades acima do limite considerado de baixa produtividade. As combinações das doses de N de 50 + 210 e 100 + 155 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e cobertura, respectivamente, proporcionaram aumentos de 52,3 e 55% na produtividade comercial em relação a combinação 50 + 0 e 100 + 0 kg ha⁻¹ de N (Tabela 6 e Figura 4).

Não houve efeito dos tratamentos (5 doses de N em pré-plantio e 5 doses em cobertura) sobre o teor de massa seca dos tubérculos que atingiu o valor médio de 16,3 %.

Tabela 6. Produtividade total ($t\ ha^{-1}$), produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$), índice de produção comercial (IPC) e número de tubérculos de batata, em função da ausência da adubação em cobertura (ACOB) e da presença da adubação em cobertura (CCOB), nos tratamentos que receberam diferentes doses de N em pré-plantio (PP), na safra de “inverno”.

Dose de N ($kg\ ha^{-1}$)		Produtividade total ($t\ ha^{-1}$)		Produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$)		IPC (%)		Número de tubérculos	
PP	COB ¹	ACOB ²	CCOB ³	ACOB	CCOB	ACOB	CCOB	ACOB	CCOB
0	275	19,8 a	32,7 b	15,7 a	28,0 b	79,2 a	85,0 a	10,3 a	13,0 a
50	210	28,7 a	40,3 b	23,5 a	35,8 b	82,0 a	88,6 a	11,2 a	11,4 a
100	155	35,1 a	51,2 b	29,8 a	46,2 b	84,7 a	90,2 b	13,5 a	13,1 a
200	60	47,6 a	52,0 a	42,0 a	47,2 a	88,0 a	90,7 a	14,3 a	15,7 a
300	60	44,4 a	40,0 a	39,6 a	35,4 a	89,3 a	89,4 a	14,5 a	13,3 b

¹Dose de N aplicada em cobertura.

²Não recebeu N em cobertura.

³Recebeu N em cobertura.

* Na linha, para cada variável, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F ao nível de 10 % de probabilidade.

Tabela 7. Doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio (PP), diagnóstico do estado nutricional nitrogenado (DENN), necessidade da aplicação do N em cobertura (NANC) determinado pelo índice de suficiência de nitrogênio, resposta da produção comercial, diagnóstico falso ou verdadeiro e implicação da mesma, na safra “de inverno” da batata.

Dose de N em PP (kg ha ⁻¹)	DENN	NANC	Resposta da produção	Falso ou verdadeiro	Implicação
0	Deficiente	Sim	Sim ¹	V + ²	FAC ³
50	Deficiente	Sim	Sim	V +	FAC
100	Deficiente	Sim	Sim	V +	FAC
200	Não Deficiente	Não	Não	V -	NNF
300	Não Deficiente	Não	Não	V -	NNF

¹ Veja valores de produção comercial de batata na Tabela 5. ² Adaptado de BEVERLY e HALLMARK (1992). ³ NNF = Decisão correta de não aplicar o fertilizante em cobertura e FAC = Decisão correta de aplicar o fertilizante em cobertura. Os tratamentos que indicaram a necessidade de adubação com N em cobertura receberam o sinal (+), e os tratamentos que não indicaram a necessidade de adubação com N em cobertura receberam o sinal (-).

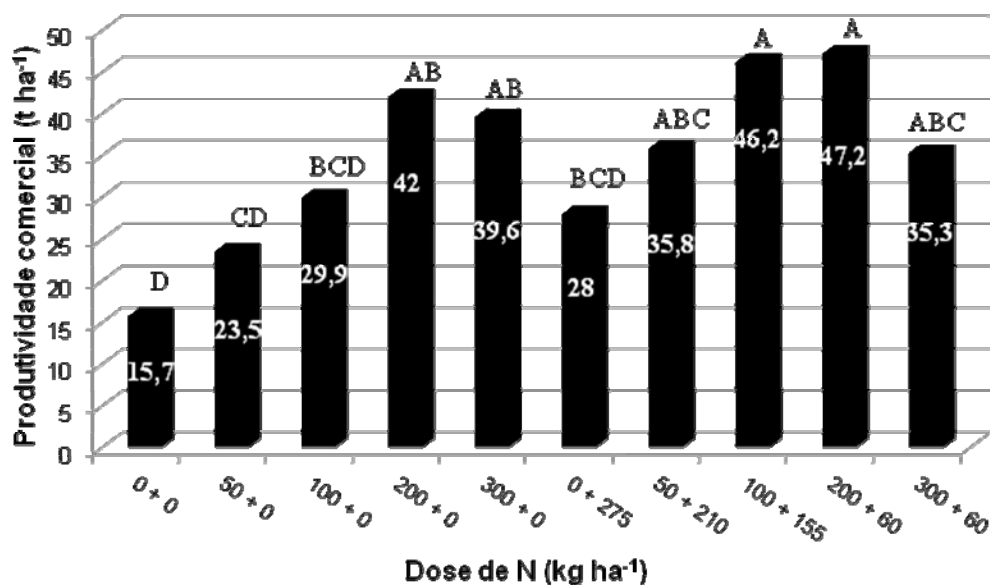


Figura 3. Produtividade comercial de tubérculos de batata nos diversos tratamentos onde foram combinadas as doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (primeiro valor) e em cobertura (segundo valor) na safra “de inverno”.

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

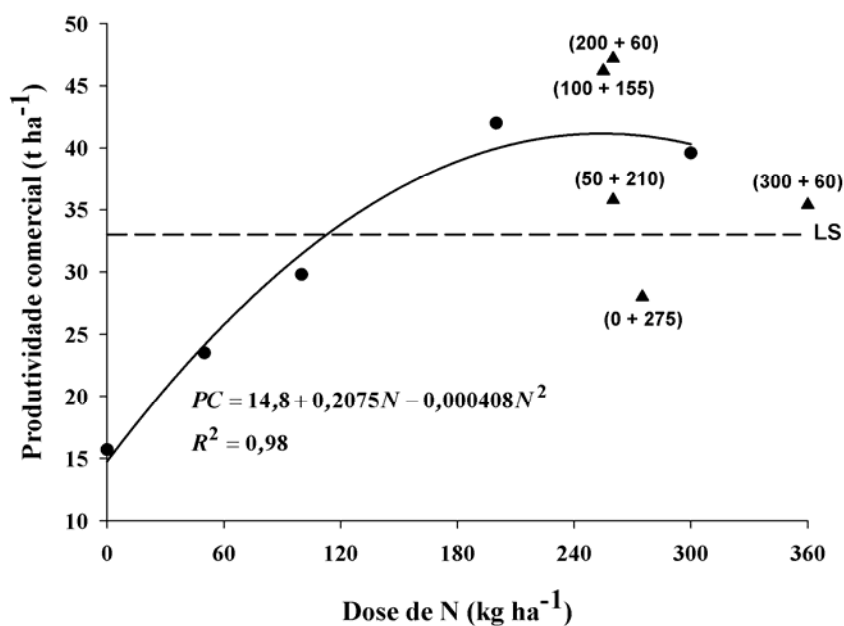


Figura 4. Produtividade comercial de tubérculos de batata em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (●) e em cobertura (▲) na safra “de inverno”. No ajuste da equação somente foram usados os valores de N aplicados em pré-plantio. LS (----) indica 70 % da maior produtividade obtida.

3.1.2. Análise econômica

Os valores da produtividade comercial de tubérculos variaram de 15,7 a 47,2 t ha⁻¹ e o gasto com adubo nitrogenado de R\$ 0,00 a 1.088,67 por hectare de acordo com os tratamentos (Tabela 8). O maior lucro obtido foi conseguido aplicando-se 200 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, apresentando diferença positiva de R\$ 35.907,57 em relação ao tratamento com 0 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 8. Análise econômica da produtividade comercial (PC) de tubérculos de batata, em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e em cobertura, na safra de “inverno”.

PP	Dose de N (kg ha ⁻¹)		Produtividade comercial (t ha ⁻¹)	Gasto adubo nitrogenado (R\$ ha ⁻¹)	Custo Total (R\$ ha ⁻¹)	Receita Bruta (R\$ ha ⁻¹)	Lucro Bruto (R\$ ha ⁻¹)
	COB	Total					
0	0	0	15,7	0,00	13.238,18	18.355,99	5.117,81
0	275	275	28,0	831,63	14.069,81	32.689,88	18.620,08
50	0	50	23,5	151,21	13.389,38	27.372,01	13.982,63
50	210	260	35,8	786,26	14.024,44	41.786,24	27.761,80
100	0	100	29,9	302,41	13.540,59	34.820,14	21.279,80
100	155	255	46,2	771,14	14.009,32	53.904,35	39.895,03
200	0	200	42,0	604,82	13.843,00	48.928,57	35.085,57
200	60	260	47,2	786,26	14.024,44	55.049,82	41.025,38
300	0	300	39,6	907,23	14.145,41	46.145,24	31.999,83
300	60	360	35,3	1.088,67	14.326,85	41.226,47	26.899,61

3.1.3. Eficiências de recuperação e uso do N, quantidade de N absorvida e índice de colheita

Houve efeito da combinação das doses de N aplicadas em pré-plantio e em cobertura sobre a eficiência de recuperação do N (ERN), sendo verificado variação de 19,6 a 44,0 % de recuperação do N pela batateira de acordo os tratamentos (Figura 5). A menor ERN foi verificada no tratamento onde foram combinadas as doses de 0 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 275 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Não houve efeito de doses de N sobre o índice de colheita (Tabela 9). O índice de colheita médio foi 0,87.

Houve efeito de doses de N sobre o total de N absorvido pela planta (TNAP), sendo observado tendência de aumento do TNAP com o aumento da quantidade de N aplicada em pré-plantio e em cobertura (Tabela 9). O maior valor de TNAP foi observado quando se aplicou 100 kg ha⁻¹ de N no plantio e 155 em cobertura (Tabela 9).

Houve efeito de doses de N sobre a eficiência no uso do N (EUSN), havendo a tendência de diminuição da EUSN com o aumento das doses de N aplicadas em pré-plantio. As maiores EUSN foram obtidas com as doses de 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N aplicados no plantio, não sendo verificado aumento da EUSN aplicando-se pequena quantidade de N em pré-plantio e posterior complementação do N em cobertura (Tabela 9).

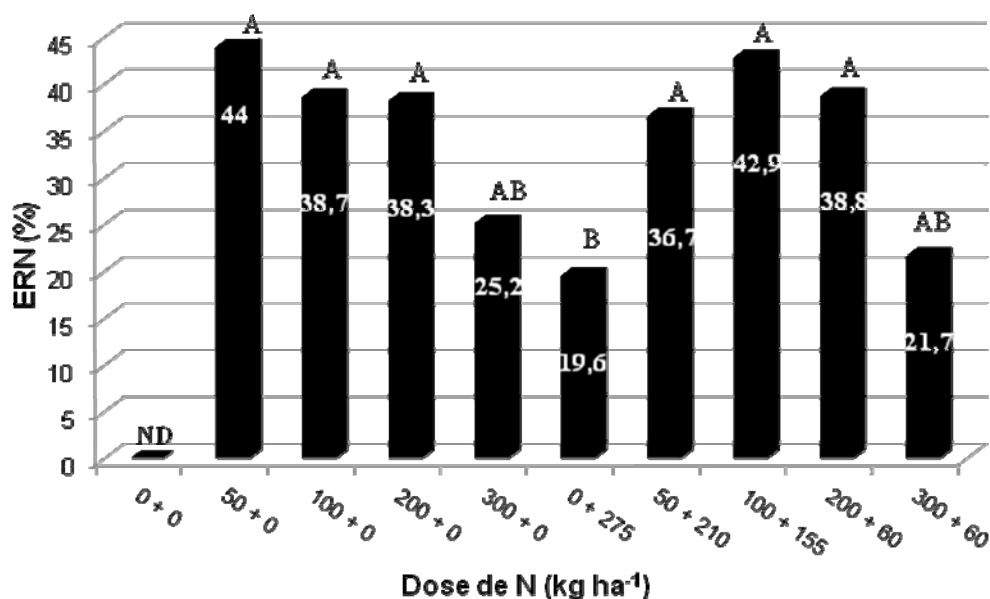


Figura 5. Eficiência de recuperação do nitrogênio (ERN) pela batateira em função de tratamentos onde foram combinadas as doses de N aplicadas em pré-plantio (primeiro valor) e em cobertura (segundo valor) na safra de inverno.

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 9. Índice de colheita, quantidade total de nitrogênio absorvido pela planta (TNAP) e eficiência do uso do nitrogênio (EUSN) em função de doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (PP) e em cobertura (COB), na safra de inverno.

PP	Dose de N (kg ha ⁻¹)		Índice de colheita	TNAP kg ha ⁻¹	EUSN kg kg ⁻¹
	COB	Total			
0	0	0	0,88 a	33,1 e	416,9 a
0	275	275	0,86 a	86,9 bcd	18,6 b
50	0	50	0,86 a	55,1 de	85,9 b
50	210	260	0,87 a	128,4 ab	23,6 b
100	0	100	0,87 a	71,8 cde	51,8 b
100	155	255	0,89 a	142,6 a	31,1 b
200	0	200	0,89 a	109,7 abc	36,7 b
200	60	260	0,84 a	134,0 ab	30,6 b
300	0	300	0,88 a	108,8 abc	23,6 b
300	60	360	0,83 a	111,0 abc	16,9 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

3.1.4. Correlação entre a produtividade relativa e o ISN e acurácia do método

Houve relação direta e altamente significativa entre a produtividade relativa (%) e o ISN avaliado aos 21 DAE (Figura 6). A partir das leituras SPAD realizadas é possível calcular o valor de ISN e, ao correlacionar-se com a produtividade relativa, estabelecer um ISN crítico para a tomada de decisão da adubação em cobertura. Assim, o valor de 95 % da produtividade máxima de tubérculos estava associado ao ISN de 0,98 medido aos 21 DAE (Figura 6).

Analisando os 20 pares de dados verificou-se que as plantas das 12 parcelas que receberam as doses 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio apresentaram ISN < 0,95 e, seguindo-se o critério adotado, deveriam receber a adubação nitrogenada em cobertura, ou seja, estariam insuficientes. Destas 12 observações, todas apresentaram aumento na produtividade, isto é, as plantas nestas parcelas estavam verdadeiramente insuficientes (Vi). As plantas das 8 parcelas que receberam 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio apresentaram ISN > 0,95, e seguindo-se o critério de diagnose proposto não seria necessário a adubação em cobertura. Das 8 parcelas verificou-se que em 5 não houve aumento de produtividade, observando-se um verdadeiro equilíbrio nestas parcelas, e em 3 houve aumento de produtividade, com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, isto é, nestas parcelas havia um falso equilíbrio (Tabela 10). Em suma, houve 12 diagnósticos V+, 5 V-, 0 F+ e 3 F-. De posse destas informações, verificou-se que o método de diagnose do estado nutricional nitrogenado na batateira através do ISN apresentou uma precisão de 85 % para o cultivo realizado na época de inverno.

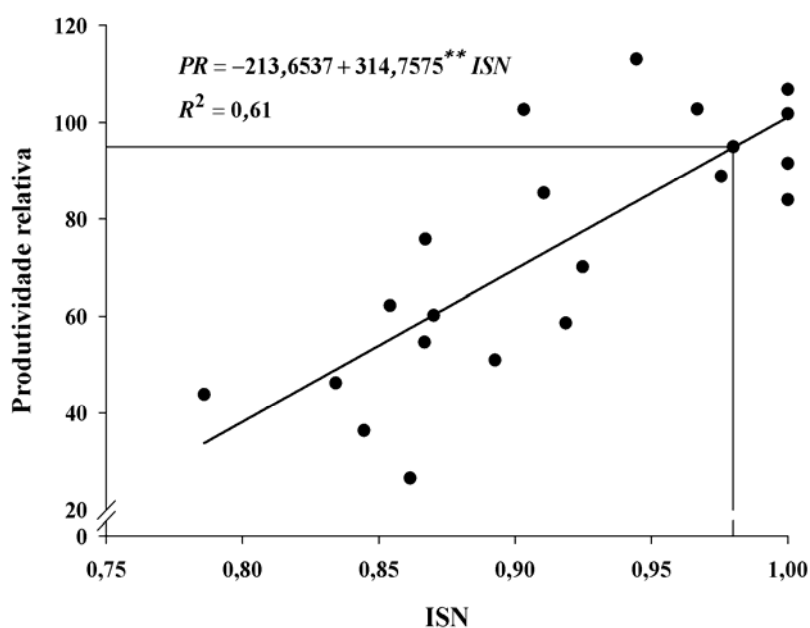


Figura 6. Relação entre a produtividade comercial relativa de tubérculos de batata (%) e o índice de suficiência de N (ISN) avaliado com o clorofilômetro SPAD aos 21 dias após a emergência, na safra “de inverno”.
** significativo a 1 % pelo teste “t”.

Tabela 10. Contagem de casos observados nas parcelas de acordo com o diagnóstico determinado pelo índice de suficiência de nitrogênio (ISN) e o estado nutricional fisiológico avaliado pela produtividade das plantas das 20 parcelas que receberam diferentes doses de N na safra de inverno.

Estado nutricional determinado pelo ISN	Estado nutricional fisiológico	
	Deficiente	Suficiente
Insuficiente (ISN < 0,95)	12 (Vi)	0 (Fi)
Equilibrado (ISN ≥ 0,95)	3 (Fe)	5 (Ve)

3.2. Experimento da safra “das águas”

3.2.1. Produção total, comercial e número de tubérculos

A decisão de se aplicar o N em cobertura de acordo com o índice SPAD na quarta-folha da batateira proporcionou aumento significativo na produtividade total e comercial de tubérculos nas parcelas que receberam as doses 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N aplicadas em pré-plantio (Tabela 11). Assim, de acordo com o índice de suficiência determinado nas parcelas que receberam 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ (ISN < 0,95), seria necessário a complementação da adubação nitrogenada em cobertura o que foi confirmado pelo aumento da produtividade. Isto implica que a aplicação do fertilizante em cobertura foi apropriada (Tabelas 11 e 12). Já as parcelas que receberam as doses de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio apresentaram ISN > 0,95, indicando não ser necessário a adubação complementar com N, o que foi confirmado por não ter havido aumento significativo na produtividade (Tabelas 11 e 12).

O índice de produtividade comercial de tubérculos das parcelas que receberam a adubação de cobertura não diferiu estatisticamente das parcelas que receberam apenas a adubação em pré-plantio (Tabela 11).

A aplicação do N em cobertura não influenciou o número total de tubérculos (NTT), exceto no tratamento que recebeu 0 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 315 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Tabela 11). Apesar de não ter havido diferença estatisticamente significativa, a aplicação de N em cobertura tendeu a aumentar o NTT.

Analisando os dez tratamentos (5 doses de N em pré-plantio e 5 doses de N em cobertura advindas da recomendação obtida com a leitura SPAD) verificou-se que as maiores produtividades comerciais de tubérculos de batata foram obtidas com 200 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura; e 300 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 7).

Com a aplicação de toda a dose de N em pré-plantio, a máxima produção comercial foi 27,6 t ha⁻¹, obtida com 282,4 kg ha⁻¹ de N (Figura 4). Aplicando-se pequena quantidade de N em pré-plantio (0 a 100 kg ha⁻¹ de N) e não realizando a adubação de cobertura, a produção comercial ficou

abaixo de 22 t ha⁻¹ (70 % da maior produtividade observada), sendo considerada neste caso baixa (Figura 8). No entanto, não adubando-se ou a aplicação de pequena dose de N em pré-plantio (0, 50 e 100 kg ha⁻¹) quando complementada com aplicação em cobertura (318, 265 e 182 kg ha⁻¹ de N) proporcionou obter produtividades acima do limite considerado de baixa produtividade. As combinações das doses de N de 0 + 318, 50 + 265 e 100 + 182 kg ha⁻¹ em pré-plantio e cobertura, respectivamente, proporcionaram aumentos de 229, 57,7 e 35,3 % na produtividade comercial em relação a combinação 0 + 0; 50 + 0 e 100 + 0 kg ha⁻¹ de N (Tabela 11 e Figura 8).

Não houve efeito dos tratamentos (5 doses de N em pré-plantio e 5 doses em cobertura) sobre o teor de massa seca dos tubérculos que atingiu o valor médio de 13,4 %.

Tabela 11. Produtividade total ($t\ ha^{-1}$), produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$), índice de produção comercial (IPC) e número de tubérculos de batata, em função da ausência da adubação em cobertura (ACOB) e da presença da adubação em cobertura (CCOB), nos tratamentos que receberam diferentes doses de N em pré-plantio (PP), na safra das “águas”.

Dose de N ($kg\ ha^{-1}$)		Produtividade total ($t\ ha^{-1}$)		Produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$)		IPC (%)		Número de tubérculos	
PP	COB ¹	ACOB ²	CCOB	ACOB	CCOB	ACOB	CCOB	ACOB	CCOB
0	318	9,7 a	27,2 b	6,9 a	22,7 b	72,1 a	84,1 a	3,8 a	9,1 b
50	265	17,9 a	30,4 b	15,6 a	24,6 b	86,5 a	80,8 a	6,6 a	11,0 a
100	182	22,3 a	30,7 b	18,7 a	25,3 b	84,6 a	83,6 a	9,5 a	12,2 a
200	60	28,1 a	34,6 a	25,6 a	30,9 a	91,1 a	89,4 a	9,9 a	11,4 a
300	60	30,3 a	34,7 a	27,7 a	29,7 a	91,5 a	86,0 a	11,3 a	12,6 a

¹Dose de N aplicada em cobertura.

²Não recebeu N em cobertura.

³Recebeu N em cobertura.

* Na linha, para cada variável, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F ao nível de 10% de probabilidade.

Tabela 12. Doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio (PP), diagnóstico do estado nutricional nitrogenado (DENN), necessidade da aplicação do N em cobertura (NANC), resposta da produção comercial, diagnóstico falso ou verdadeiro e implicação da mesma, na safra “das águas” da batata.

Dose de N em PP (kg ha ⁻¹)	DENN	NANC	Resposta da produção	Falso ou verdadeiro	Implicação
0	Deficiente	Sim	Sim ¹	V + ²	FAC ³
50	Deficiente	Sim	Sim	V +	FAC
100	Deficiente	Sim	Sim	V +	FAC
200	Não Deficiente	Não	Não	V -	NNF
300	Não Deficiente	Não	Não	V -	NNF

¹ Veja valores de produção comercial de batata na Tabela 5. ² Adaptado de BEVERLY e HALLMARK (1992). ³ FAC = Decisão correta de aplicar o fertilizante em cobertura e NNF = Decisão correta de não aplicar o fertilizante em cobertura. Os tratamentos que indicaram a necessidade de adubação com N em cobertura receberam o sinal (+), e os tratamentos que não indicaram a necessidade de adubação com N em cobertura receberam o sinal (-).

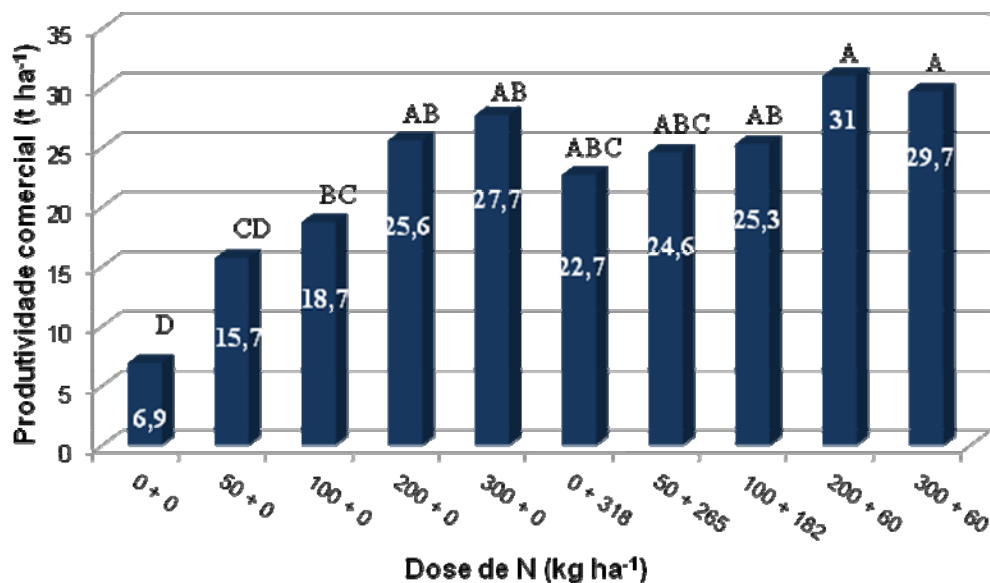


Figura 7. Produtividade comercial de tubérculos de batata nos diversos tratamentos onde foram combinadas as doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (primeiro valor) e em cobertura (segundo valor) na safra “das águas”.

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

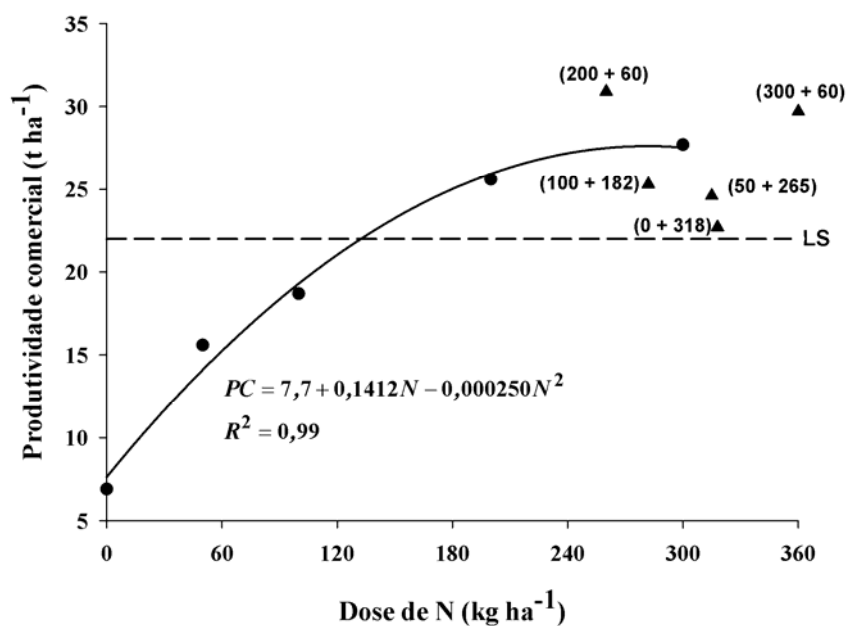


Figura 8. Produtividade comercial de tubérculos de batata em função das doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (●) e cobertura (▲) na safra “das águas”. No ajuste da equação somente foram usados os valores de N aplicados em pré-plantio. LS (----) indica 70% da maior produtividade obtida.

3.2.2. Análise econômica

Os valores da produtividade comercial de tubérculos variaram de 6,9 a 30,9 t ha⁻¹ e o gasto com adubo nitrogenado de R\$ 0,00 a 1.088,67 por hectare de acordo com os tratamentos (Tabela 13). O maior lucro obtido foi conseguido aplicando-se 200 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura. A não utilização de adubo nitrogenado na cultura da batata promoveu prejuízo de 5.825,33 devido a baixa produtividade verificada nesta safra.

Tabela 13. Análise econômica da produtividade comercial (PC) de tubérculos de batata, em função de doses de nitrogênio (N) aplicadas em pré-plantio e em cobertura, na safra das “águas”.

PP	Dose de N (kg ha ⁻¹)		Produtividade comercial (t ha ⁻¹)	Gasto adubo nitrogenado (R\$ ha ⁻¹)	Custo Total (R\$ ha ⁻¹)	Receita Bruta (R\$ ha ⁻¹)	Lucro/Prejuízo Bruto (R\$ ha ⁻¹)
	COB	Total					
0	0	0	6,9	0,00	12.216,18	6.390,85	- 5.825,33
0	318	318	22,7	961,66	13.177,84	20.958,53	7.780,69
50	0	50	15,7	151,20	12.367,38	14.432,43	2.065,05
50	265	315	24,6	952,59	13.168,77	22.661,53	9.492,76
100	0	100	18,7	302,41	12.518,59	17.229,77	4.711,18
100	182	282	25,3	852,79	13.068,97	23.365,47	10.296,50
200	0	200	25,6	604,82	12.821,00	23.579,12	10.758,12
200	60	260	30,9	786,26	13.002,44	28.569,76	15.567,32
300	0	300	27,7	907,23	13.123,41	25.537,25	12.413,85
300	60	360	29,7	1.088,67	13.304,85	27.426,23	14.121,38

3.2.3. Eficiências de recuperação e uso do N, quantidade de N absorvida e índice de colheita

Houve efeito da combinação das doses de N aplicadas em pré-plantio e em cobertura sobre a eficiência de recuperação do N (ERN), sendo verificado uma variação de 19,5 a 36,7 % de recuperação do N pela batateira de acordo com os tratamentos (Figura 9). As menores ERN foram verificadas nos tratamentos onde foram combinadas as doses de 300 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 0 kg ha⁻¹ em cobertura, e 300 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 9). A decisão de se aplicar o N em cobertura de acordo com o índice SPAD promoveu uma melhoria na ERN visto que quando se aplicou 100 kg ha⁻¹ de N no plantio com 182 kg ha⁻¹ de N em cobertura (total de 282 kg ha⁻¹ de N) a ERN não diferiu estatisticamente das doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N aplicadas em pré-plantio apresentando ERN de 36,7% com uma alta produtividade (Figuras 7 e 9).

Não houve efeito de doses de N sobre o índice de colheita (Tabela 14). O índice de colheita médio foi 0,72.

Houve efeito de doses de N sobre o total de N absorvido pela planta (TNAP), sendo observado uma tendência de aumento do TNAP com o aumento das doses de N aplicadas em pré-plantio e em cobertura (Tabela 13). Os maiores valores de TNAP foram observados quando se aplicou 50 kg ha⁻¹ de N no plantio e 275 kg ha⁻¹ em cobertura; e 100 kg ha⁻¹ no plantio e 182 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Tabela 14).

Houve efeito de doses de N sobre a eficiência no uso do N (EUSN), havendo a tendência de diminuição da EUSN com o aumento das doses de N aplicadas em pré-plantio (Tabela 14). As maiores EUSN foram obtidas com as doses de 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N aplicados no plantio, sendo produzidos nestas doses 154,5; 42,7 e 28,4 kg de MS de tubérculos para cada kg de N absorvido. Não foi verificado aumento da EUSN com o critério adotado de adubação com N em cobertura pelo índice SPAD.

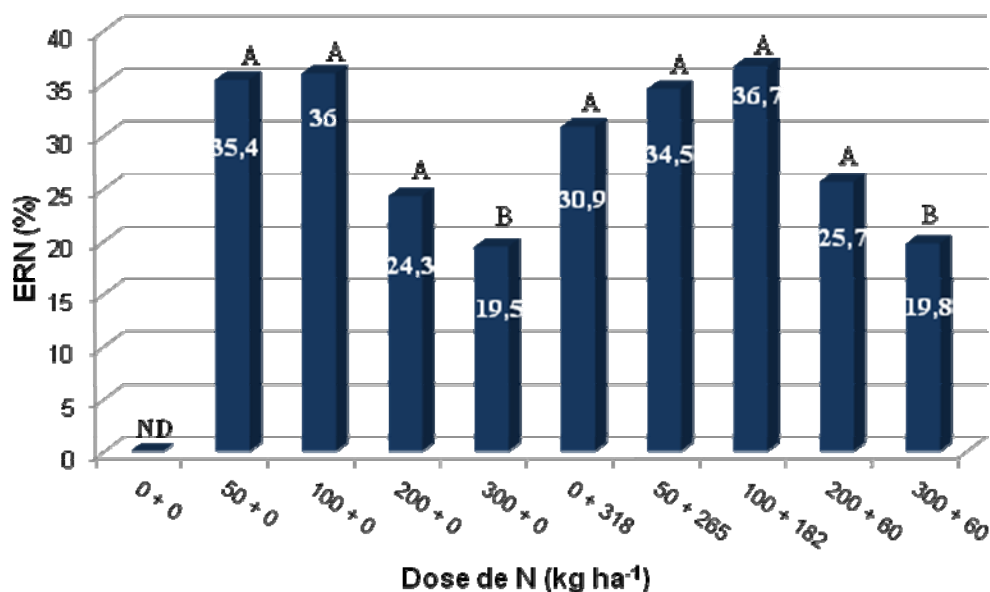


Figura 9. Eficiência de recuperação do nitrogênio (ERN) pela batateira em função de tratamentos onde foram combinadas as doses de N aplicadas em pré-plantio (primeiro valor) e em cobertura (segundo valor) na safra “das águas”.

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 14. Índice de colheita, quantidade total de nitrogênio absorvida pela planta (TNAP) e eficiência do uso do nitrogênio (EUSN), em função de doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio (PP) e em cobertura (COB) na batateira, na safra “das águas”.

PP	Dose de N (kg ha ⁻¹)		Índice de colheita	TNAP kg ha ⁻¹	EUSN kg kg ⁻¹
	COB	Total			
0	0	0	0,72 a	22,0 e	154,5 a
0	318	318	0,65 a	120,3 ab	11,7 b
50	0	50	0,77 a	39,7 de	42,7 b
50	275	315	0,65 a	130,8 a	12,0 b
100	0	100	0,74 a	58,0 cde	28,4 b
100	182	282	0,67 a	125,2 a	15,2 b
200	0	200	0,74 a	70,7 bcde	17,3 b
200	60	260	0,77 a	88,8 abcd	18,1 b
300	0	300	0,77 a	80,5 abcd	13,4 b
300	60	360	0,75 a	93,4 abc	12,2 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade

3.2.4. Correlação entre a produtividade relativa e o ISN e acurácia do método

Houve relação direta e altamente significativa entre a produtividade relativa (%) e o ISN (Figura 10). A partir das leituras SPAD realizadas aos 21 DAE é possível calcular o valor de ISN e, ao correlacionar-se com a produtividade relativa, estabelecer um ISN crítico para a tomada de decisão da adubação em cobertura. Assim, o valor de 95 % da produtividade máxima de tubérculos estava associado ao ISN de 98 % mediado aos 21 DAE (Figura 10).

Analisando os 20 pares de dados verificou-se que as plantas das 12 parcelas que receberam as doses 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio apresentaram ISN < 0,95 e, seguindo-se o critério adotado, deveriam receber a adubação nitrogenada em cobertura, ou seja, estariam insuficientes. Destas 12 observações todas apresentaram aumento na produtividade em suas parcelas, isto é, as plantas nestas parcelas estavam verdadeiramente insuficientes (Vi). As plantas das 8 parcelas que receberam 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio apresentaram ISN > 0,95, e seguindo-se o critério de diagnose proposto não seria necessário a adubação em cobertura. Das 8 parcelas verificou-se que em 2 não houve aumento de produtividade, observando-se um verdadeiro equilíbrio nestas parcelas, e em 6 houve aumento de produtividade, com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, isto é, nestas parcelas havia um falso equilíbrio (Tabela 15). Em suma, houve 12 diagnósticos V+, 2 V-, 0 F+ e 6 F-. De posse destas informações, verificou-se que o método de diagnose do estado nutricional nitrogenado na batateira através do ISN apresentou uma precisão de 70 % para o cultivo realizado na época das “águas”. A precisão foi prejudicada pelos 6 casos de falso diagnóstico de suficiência quando na verdade deveria ser diagnosticado insuficiência.

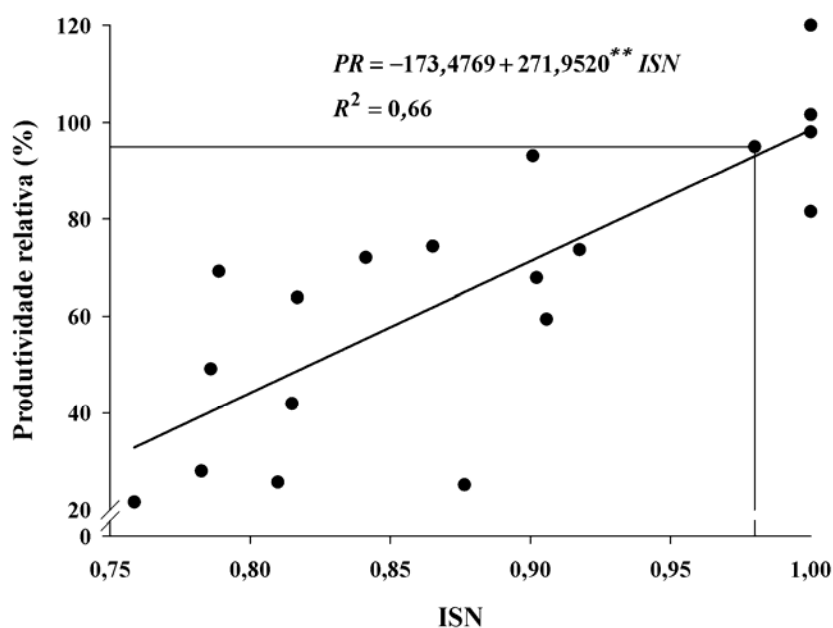


Figura 10. Relação entre a produtividade comercial relativa de tubérculos de batata (%) e o índice de suficiência de N (ISN) avaliado com o clorofilômetro aos 21 dias após a emergência, na safra “das águas”.
** significativo a 1 % pelo teste “t”

Tabela 15. Contagem de casos observados nas parcelas de acordo com o diagnóstico determinado pelo índice de suficiência de nitrogênio (ISN) e o estado nutricional fisiológico avaliado pela produtividade das plantas das 20 parcelas que receberam diferentes doses de N na safra das águas.

Estado nutricional determinado pelo ISN	Estado nutricional fisiológico	
	Deficiente	Suficiente
Insuficiente (ISN < 0,95)	12 (Vi)	0 (Fi)
Equilibrado (ISN ≥ 0,95)	6 (Fe)	2 (Ve)

4. DISCUSSÃO

Ausência de aplicação de N e o tratamento considerado como referência (300 kg ha⁻¹ de N) proporcionaram valores contrastantes de leitura SPAD nas plantas destas parcelas (Tabela 3). Esse índice possibilitou detectar precocemente, aos 21 DAE, com base no ISN de 0,95, a necessidade de aplicar N em cobertura (Tabela 3). Tal fato é importante, pois, além da maior facilidade operacional para aplicações mecanizadas, a correção de carência de nitrogênio (N) em planta jovem, no início da tuberização, assegura a obtenção de alta produtividade haja visto que a absorção de N se torna intensa após este período devido ao início da fase de tuberização (Westermann & Kleinkopf, 1985). Dados da literatura indicam que uma proporção correspondente a 98 % da quantidade total de N é absorvida na fase de crescimento vegetativo da cultura da batata, durante a qual ocorre 80 % do crescimento dos tubérculos. A fração restante de 20 % do crescimento dos tubérculos ocorre na fase seguinte, pela translocação de assimilados e remobilização do nitrogênio da parte vegetativa (Kleinkopf et al., 1981).

Contrariamente, Denuit et al. (2002), utilizando as doses de 0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ de N na cultura da batata, verificaram que os valores das leituras com o clorofilômetro HNT (Hydro-Agri N-Tester) nas plantas das parcelas variaram pouco em relação a parcela de referência (300 kg ha⁻¹ de N). O uso da parcela de referência adubada com dose acima do recomendado para a cultura e as medidas com o clorofilômetro foram utilizados com sucesso para avaliar o estado de N e indicar o momento de adubação em cobertura nas culturas do milho (Godoy et al., 2003), feijão

(Silveira et al., 2003), arroz (Hussain et al., 2000), pimentão (Godoy et al., 2003) e café (Godoy et al., 2008).

Para as condições intermediárias de suprimento de N (100 e 200 kg ha⁻¹), a diferença na leitura SPAD das plantas nestas parcelas foram menores, principalmente na safra de “inverno”, podendo induzir a erros de que as plantas adubadas com 100 kg ha⁻¹ de N estariam supridas suficientemente com N. Esse aspecto comprova a utilidade das parcelas de referência, com maior aporte de N, para que se possa utilizar o clorofilômetro como indicador da necessidade da realização da adubação de cobertura (Blackmer & Schepers, 1995). Nas parcelas que receberam a dose de N em pré-plantio de 200 kg ha⁻¹, nas safras “de inverno” e “das águas”, apresentaram ISN > 0,95 e, seguindo-se o critério adotado não seria necessário a adubação em cobertura. No entanto, a complementação com 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura nestas parcelas, em ambas as épocas de cultivo, apresentaram maior lucratividade. Desse modo, os resultados ora obtidos levam a hipotetizar que o clorofilômetro se presta bem para discriminar condições contrastantes de suprimento de N, mas, a partir de certo nível de disponibilidade do nutriente no sistema solo-planta, o equipamento não confere a sensibilidade necessária para se decidir precisamente sobre a viabilidade de fornecer pequenas doses adicionais.

Outra hipótese que pode ser lançada é que o uso do ISN de 0,95 não seja adequado para a batateira, pois para a obtenção de 95 % da produtividade relativa o ISN estimado foi 0,98. Alguns autores propõem valor de ISN diferente de 0,95 para se tomar a decisão de adubar em cobertura. Rozas & Echeverría (1998) indicam o valor de ISN ≥ 0,98 que deve ser mantido nos estádios posteriores ao de seis folhas para alcançar 95% do rendimento máximo de milho. Para essa cultura, Jemison & Lytle (1996) utilizaram o índice menos rigoroso (0,93). Na cultura do arroz, Hussain et al. (2000) utilizaram o ISN de 0,90 como valor determinante da necessidade de adubação nitrogenada. Além da dose a ser utilizada na parcela de referência fica também a dúvida de qual ISN deve ser utilizado.

Não adubando-se com N no plantio em ambas as safras obteve-se o menor lucro bruto na safra “de inverno” e prejuízo na “safra das águas”, sendo verificado também que a maior dose de N utilizada (360 kg ha⁻¹) não

foi a dose que se obteve o maior lucro. Estes resultados estão de acordo ao reportado por Love et al. (2005), que estudaram o efeito das doses de N de 0, , 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N e verificaram que o retorno líquido é baixo quando não se aduba com N as plantas, aumenta até o retorno máximo utilizando-se doses intermediárias e volta a cair novamente com a utilização de altas doses de N, reflexo da combinação da diminuição da produtividade e aumento dos custos com a aquisição do adubo nitrogenado.

Na safra “de inverno” as maiores produtividades de tubérculos comerciais foram obtidas com as combinações das doses de 100 kg ha⁻¹ em pré-plantio mais 155 kg ha⁻¹ em cobertura e 200 kg ha⁻¹ em pré-plantio mais 60 kg ha⁻¹ em cobertura. Nesta época observou-se, também, que não adubando-se em pré-plantio e adicionando-se 275 kg ha⁻¹ de N em cobertura não foi suficiente para elevar a produtividade acima de 70 % da maior produtividade observada (47,2 kg ha⁻¹). Para a safra “das águas” as maiores produtividades obtidas foram com as combinações das doses de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio mais 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Quantidade excessiva de N no plantio pode elevar a salinidade próximo a zona radicular das plantas, afetando a absorção de água. Ainda, o fornecimento de doses adequadas de N, durante o período de crescimento vegetativo e o início da tuberização favorece a partição adequada de raiz:parte aérea estimulando o crescimento e formação dos tubérculos.

Para o crescimento de plantas em condições de campo, o decréscimo na produção de biomassa, em resposta à deficiência de N, pode ser resultado de uma redução na quantidade de radiação interceptada pelo dossel, de um decréscimo na eficiência de utilização da radiação interceptada para produzir matéria seca ou da combinação de ambos os fatores. A deficiência de N pode inibir o desenvolvimento, levando à redução da interceptação da radiação solar, um decréscimo na atividade fotossintética foliar e, portanto, à menor eficiência de uso da radiação (Moss, 1984; Muchow, 1990; Sinclair & Gardner, 1998). O suprimento inadequado de N em pré-plantio foi mais marcante na época da “safra de inverno”, onde a menor área foliar, associada à duração mais curta do período de luz, não foi suficiente para as plantas acumular quantidades suficientes de carbono na parte aérea e transferí-los para os tubérculos.

A aplicação de dose de N baixa em pré-plantio (0 e 50 kg ha⁻¹ de N) e a complementação da adubação em cobertura não promoveu aumentos de produtividade quando comparado com a aplicação de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N em pré-plantio nas safras “de inverno” e das “águas” (Figuras 4 e 8) mesmo havendo regime pluviométrico contrastantes. Pode-se lançar a hipótese para explicar tal fato que as plantas ao absorverem o N aplicado em cobertura utilizaram o mesmo, primeiramente, para estimular a formação do dossel da planta e, apesar de ter havido aumento do número de tubérculos com a aplicação complementar de N, não houve tempo hábil para enchimento dos mesmos (Tabelas 6 e 11). Outra hipótese a ser lançada é que pode ter havido uma redução da capacidade dos drenos, devido a alteração do equilíbrio hormonal da planta, principalmente pela maior concentração de Auxinas e Giberelinas nos meristemas apical e axilar, com alterações na partição de assimilados entre o crescimento dos compartimentos vegetativo, de armazenamento e radicular (Fernier & Willmitzer, 2001).

O efeito do parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura da batata foi avaliado por Barcelos (2007) que constatou que o parcelamento das doses de N não influenciou a produtividade dos tubérculos da cultivar Monalisa. As produtividades médias encontradas por esse autor foram 35,1 t ha⁻¹ (100 % da aplicação de N na amontoa), 35,2 t ha⁻¹ (50 % da aplicação de N na emergência e 50 % na amontoa) e 38,0 t ha⁻¹ (50 % da aplicação de N na amontoa e 50 % 15 dias após a amontoa). Mohr & Tomasiewicz, em batata irrigada, em quatro anos no Canadá, não constataram diferenças na produtividade quando o N foi parcelado em 2 e 4 vezes durante o ciclo da cultura em comparação a aplicação de todo o N no plantio. Já Cardoso et al. (2007), estudando o efeito do parcelamento da adubação com N e K, constataram que o parcelamento do N em duas aplicações (50% no plantio e 50% na tuberização) da dose de 140 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior produtividade do que quando todo o N foi aplicado no plantio.

Apesar de não ter havido efeito da aplicação de N em cobertura com base nas leituras SPAD sobre a produtividade comercial de tubérculos (Figuras 4 e 8), verificou-se que houve aumento da eficiência de recuperação do N com o parcelamento da adubação, principalmente na

época “das águas”. Errebhi et al. (1998) avaliaram o parcelamento da dose de 270 kg ha⁻¹ de N no plantio, na emergência e em cobertura e constataram que quando se aplicou pequena quantidade de N em pré-plantio obtiveram menor quantidade de nitrato lixiviado e maior recuperação de N pela cultura; neste estudo a variação de recuperação do N variou de 25 a 40%. Resultado semelhante também foi encontrado por Cambouris et al. (2008). Segundo Li et al. (2003) nas condições do Canadá a eficiência de recuperação do N para a cultivar Russet Burbank foi de 56 % em condições de baixo regime pluviométrico, diminuindo para apenas 33 % sob condições de chuvas intensa. Maidl et al. (2002) avaliaram o efeito do parcelamento da adubação nitrogenada na utilização de N em batata adubadas com ¹⁵N (¹⁵NH₄¹⁵NO₃) em dois anos agrícolas e verificaram que a recuperação do N do fertilizante foi de 29,8% e 36,2% quando aplicado todo no plantio e de 36,2% e 58,4% quando parcelado em três doses. Segundo os autores o efeito positivo do parcelamento da adubação é mais evidente sob condições desfavoráveis para o crescimento da cultura, como a possibilidade de encharcamento do solo. Olivier et al. (2006) avaliaram e validaram, durante seis anos (1997 a 2002), o manejo de se aplicar 70% da dose de N no plantio e os 30% restante em cobertura somente quando a medida do clorofilômetro indicar e concluíram que do total de 22 campos experimentais manejados com a metodologia do clorofilômetro, em 64 %, foi possível melhorar a recuperação do N, com a mesma dose deste nutriente, no entanto, aplicado no momento mais adequado.

Não houve efeito da adubação nitrogenada em cobertura sob o índice de produção comercial (IPC). Provavelmente, isto ocorreu devido o nitrogênio estimular a emissão de tubérculos, mesmo quando a planta estiver iniciando a senescência, com isso, não há tempo hábil de enchimento completo dos tubérculos, permanecendo menores e imaturos, e não sendo considerados como tubérculos comerciais.

A dose e o parcelamento da adubação nitrogenada não afetaram significativamente o teor de massa seca (TMS) dos tubérculos de batata, sendo verificado, que uma redução do TMS na safra “das águas” quando comparado com a safra “de inverno”. De acordo com Cacace et al. (1994), os teores de massa seca podem ser agrupados em: alto teor de massa seca

(teores > 20,0%), teor intermediário de massa seca (teores entre 18,0% a 19,9%) e baixo teor de massa seca (teores < 17,9%). A cultivar Ágata pertence ao grupo de baixo teor de massa seca, sendo recomendada para uso em saladas, purês, massas (ABBA, 2011). Resultados sobre o efeito do N no TMS dos tubérculos são contrastantes. Braun et al. (2010) não encontraram efeito de doses crescentes de adubação nitrogenada sobre o teor de matéria seca nas cultivares de batata Ágata, Asterix, Atlantic e Monalisa, encontrando um teor médio de massa seca para a cultivar Ágata de 16,5%. Já Mallmann (2002), estudando o efeito da adubação nitrogenada na qualidade da batata, constatou que altas doses de N favoreceram a redução do teor de massa seca dos tubérculos. É possível que a redução do TMS sobre doses maiores de N esteja relacionado com a idade fisiológica do tubérculo, pois alguns autores verificaram efeito do N no retardamento da tuberização e da maturação dos tubérculos (Brierley et al., 1997; Stark et al., 2003).

A fração da biomassa de matéria seca total alocada para os tubérculos, definida como índice de colheita (IC), não foi influenciada por doses e nem pelo parcelamento da adubação nitrogenada, corroborando com os resultados verificados por Millard & Marshall (1986) e Biemond & Vos (1992). Diminuição do IC com aumento da adubação com N foi verificado por Vos (1997) e Belanger et al. (2001). Vos (1997) apresenta a hipótese que o decréscimo do índice de colheita com o aumento da adubação nitrogenada é devido, em grande parte, pela remobilização mais acentuada do N em condições de deficiência de N, o que promove a senescência prematura das folhas. Cultivares de batata cultivadas em clima temperado, sob condições ótimas de cultivo, apresentam valores de índice de colheita variando de 0,7 a 0,85 (Beukema & Zaag van der, 1990; Belanger, 2001). Na literatura é possível encontrar relatos de até 90% de distribuição da massa da matéria seca para os tubérculos (Beukema & Zaag, 1990), muito superior ao índice de colheita encontrado para cereais que normalmente varia entre 0,3 a 0,6 (Hay, 1995).

O total de N absorvido pela planta (dossel + tubérculos), variou de 33,1 a 142,6 kg ha⁻¹ de N na safra de “inverno” e 22 a 130,8 kg ha⁻¹ de N, na safra das “águas”, sendo o menor valor observado na ausência da aplicação

de adubo nitrogenado (0 kg ha^{-1}) Tyler et al. (1983) verificaram que as plantas de batata absorveram o total de N variando de 144 a 233 kg ha^{-1} ao serem utilizadas doses variando de 67 a 270 kg ha^{-1} . Stark et al. (2007), utilizando doses de 0 a 300 kg ha^{-1} e quatro cultivares de batata, verificaram que a extração de N variou de 40 a 130 kg ha^{-1} de N. A absorção de nutrientes pela planta é o resultado de três processos, absorção, translocação e incorporação havendo correlação com o crescimento da planta e a produção de matéria seca (Fontes, 2001). Segundo Vos (1999) a translocação do N da parte aérea para os tubérculos é um processo que se intensifica a partir da segunda metade do período de crescimento. Se existir uma quantidade suficiente de N acumulada durante a primeira metade do período de crescimento, há poucas razões em se estender o parcelamento da adubação com N em estágios mais avançados, apesar das plantas de batata possuírem a capacidade de absorver o N mesmo em estágios mais avançados de crescimento. Nunes et al. (2006) mostraram que a absorção do N pela batata, cv. Monalisa, estendeu-se até 88 dias após a emergência absorvendo um total de 109 kg ha^{-1} de N sob irrigação por aspersão.

A eficiência de uso do N (EUSN) representa a habilidade da planta em transformar o N absorvido em produção (Delogu et al., 1998); isto é, kg de tubérculo para cada kg de N acumulado na planta. Verifica-se que na safra de inverno a EUSN variou de $416,9$ a $16,9 \text{ kg kg}^{-1}$ (com base na massa da matéria seca), enquanto que na safra das águas a EUSN variou de $154,5$ a $12,2 \text{ kg kg}^{-1}$, sendo que as maiores EUSN foram obtidas nas parcelas que não receberam a adubação nitrogenada (Tabelas 9 e 14). Battilani et al. (2006) verificaram para batata cultivada em vários países da Europa e adubadas sob fertirrigação uma produção de massa da matéria seca de tubérculos variando de 28 a $50,3 \text{ kg}$ para cada kg de N acumulado. Normalmente, com o aumento da dose ocorre decréscimo no aproveitamento do N, em função da disponibilidade de N ultrapassar a necessidade da cultura. Zebarth et al. (2004; 2008) verificaram que a EUSN diminuiu de forma quadrática com o aumento da dose de N aplicada na cultivar de batata Russet Burbank. Vos (1999) verificaram que o parcelamento da adubação nitrogenada proporcionou poucos ganhos na eficiência do uso do N pela batata, pois, a quantidade total de N aplicada e

não a forma de distribuição determinou o padrão da eficiência de uso do N. Olivier et al. (2006) obtiveram um acréscimo na EUSN ao parcelar a adubação com N e monitorar o estado de N na planta através do clorofilômetro HNT durante o período de crescimento.

Nas safras “de inverno” e das “águas” o uso do clorofilômetro para diagnosticar o estado de N na planta apresentou uma alta precisão, principalmente para as menores doses de N aplicadas no plantio (0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N). De acordo com Beverly (1993), idealmente, a diagnose será útil se diagnosticar todas as deficiências existentes (Vi) e todas as suficiências (Ve). As falhas em detectar uma deficiência (Fe) resulta em perda de produtividade da lavoura, diminuindo a utilidade do sistema e a identificação de insuficiência; onde a planta está bem nutrida (Fi), poderá resultar em aplicação desnecessária de fertilizantes, resultando em perda econômica e possível degradação ambiental.

5. RESUMO E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 2

O adequado manejo do nitrogênio (N) em cobertura é complicado pela falta de apropriado índice de solo indicativo da disponibilidade de N e por ser a análise foliar um método de avaliação espaçado no tempo. Com o trabalho objetivou-se avaliar o uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de aplicar N em cobertura, na cultura da batata, cultivar Ágata em duas épocas contrastantes de plantio. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, nas épocas “de inverno” e “das águas”. Os tratamentos inicialmente foram 5 doses de N aplicadas em pré-plantio (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N), utilizando uréia. O delineamento foi em blocos ao acaso com 4 repetições. Aos 21 dias após a emergência (DAE) foi realizada a medição do índice SPAD na quarta-folha a partir do ápice da planta (QF). A relação entre as medidas obtidas com o clorofilômetro nas plantas nos diversos tratamentos e nas plantas que receberam a maior dose de N, considerada como área de referência, determinou o valor do índice de suficiência de nitrogênio (ISN). Aos 21 DAE, as cinco parcelas experimentais que receberam as doses de N em pré-plantio foram divididas sendo que metade recebeu aplicação de N em cobertura e metade não recebeu. A decisão de adubar foi baseada no ISN. A dose de N foi determinada pelo valor da leitura SPAD obtido nas plantas de cada tratamento. Para cada tratamento, a dose foi 318, 265, 182, 60 e 60 kg ha⁻¹ de N, respectivamente na safra “das águas”; e 275, 210, 155, 60 e 60 kg ha⁻¹ de N na safra de inverno, nos tratamentos iniciais que receberam as doses em pré-plantio de 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. A dose em cobertura foi aplicada de uma vez, na metade da parcela, imediatamente após a obtenção

do índice SPAD, aos 21 DAE, época mais comum de decidir sobre a aplicação em cobertura. Conclui-se que:

- o parcelamento da adubação nitrogenada não proporciona aumento significativo da produtividade comercial e total de tubérculos;

- a eficiência do uso do N não aumenta com a aplicação de uma dose baixa no plantio e a complementação em cobertura;

- sem aplicar nitrogênio em cobertura, a dose mais apropriada para ser aplicada em pré-plantio é 254 e 282 kg ha⁻¹ de N nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente;

- a combinação das doses de 200 kg ha⁻¹ em pré-plantio e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporciona maior lucratividade do que as demais combinações;

- a decisão de adubar em cobertura utilizando-se o critério do ISN e de estimar a dose de N com o índice SPAD propicia a precisão de acerto de 85 e 70 % dos casos avaliados nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente, sendo mais eficaz na identificação das plantas mais deficientes em nitrogênio;

- valores de ISN acima de 0,95 poderão aumentar a precisão do uso do clorofilômetro na tomada de decisão de se adubar em cobertura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA – Associação Brasileira da Batata. Variedades. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2008/variedades.asp>>. Acesso em: 18/06/2011.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. 16. ed. FNP Consultoria & Agroinformativos, 2011. 516 p.

ALVA, A.; FAN, M.; QING, C.; ROSEN, C.; REN, H. Improving nutrient-use efficiency in chinese potato production: experiences from the United States. **Journal of Crop Improvement**, v. 25, n. 1, p. 46-85, 2011.

ALVAREZ V., V. H. **Avaliação da fertilidade do solo**. Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Solos. Viçosa. Editora: UFV, 75 p. 1994.

ARAÚJO, C. **Critérios para o manejo da adubação nitrogenada do tomateiro em ambiente protegido e no campo**. 2004. 220 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

BARCELOS, D. M.; GARCIA, A.; MACIEL JÚNIOR, V. A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 21-27, 2007.

BATTILANI, A.; PLAUBORG, F.L.; HANSEN, S.; DOLEZAL, F.; MAZURCZYK, W.; BIZIK, J.; COUTINHO, J. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of fertigated potatoes. **Acta Horticulturae**, v. 792, p. 61-67, 2008.

BLACKMER, M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.1791-1800, 1994.

BELANGER, G.; ZIADI, N.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H. Residual soil nitrate after potato harvest. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 607–612, 2003.

BELANGER, G.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H.; ZIADI, N. Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation. **American Journal of Potato Research**, v. 78, 109-117, 2001.

BEUKEMA, H.P.; ZAAG van der, D.E. **Introduction to potato production**. Pudoc, Wageningen, The Netherland, 13-23, 42-52, 1990.

BEVERLY, R.B.; HALLMALK, W.B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, p. 2633-2640, 1992.

BEVERLY, R.B. DRIS diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, p.1431-1447, 1993.

BIEMOND, H.; VOS, J. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. **Annals of Botany**, v. 70, p. 37-45, 1992.

BRAUN, H.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 285-293, mar./abr., 2010.

BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BUSATO, C. FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; CECON, P.R. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 14, 2148-2156, 2010.

BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 741-755, 1998.

CACACE, J. E.; HUARTE, M. A.; MONTI, M. C. Evaluation of potato cooking quality in Argentina. **American Potato Journal**, v. 71, n. 3, p. 145-153, 1994.

CAMBOURIS, A.N.; ZEBARTH, B.J.; NOLIN, M.C.L LAVERDIÈRE, M.R. Apparent fertilizer nitrogen recovery and residual soil nitrate under continuous potato cropping: effect of N fertilization rate and timing. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 88, n. 5, p. 813-825, 2008.

CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, M.A.R.; MELO, T.L.; VIANA, A.E.S. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de N e K. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1729-1736, 2007.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

DAVENPORT, J.R.; MILBURN, P.H.; ROSEN, C.J.; THORTON, R. E. Environmental impacts of potatoes nutrient requirements. **American Journal of Potato Research**, v. 82, p. 321-328, 2005.

DENUIT, J.P.; OLIVIER, M.; GOFFAUX, M.J.; HERMAN, J.L.; GOFFART, J.P.; DESTAIN, J.P.; FRANKINET, M. Management of nitrogen fertilization of winter wheat and potato crops using the chlorophyll meter for crop nitrogen status assessment. **Agronomie**, v. 22, p. 847-853, 2002.

DELOGU, G.; CATTIVELLI, L.; PECCHIONI, N.; DE FALCIS, D.; MAGGIORE, T.; STANCA, A. M. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 9, p. 11-20, 1998.

ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; BIRONG, D.E. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v. 90, p. 10-15, 1998.

FERNIE, A.R.; WILLMITZER, L. Molecular and biochemical triggers of potato tuber development. **Plant Physiology**, v. 127, p. 1459-1465, 2001.

FONTES, P.C.R. Recomendações de adubação para a cultura da batata. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa - MG: UFV, 1999. p.179-179.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa: Arka Editora, 2011. 296 p.

GIANQUINTO, G.; GOFFART, J.P.; OLIVIER, M.; GUARDA, G.; COLAUZZI, M.; DALLA COSTA, L.; VEDOVE, D.; VOS, J.; MACKERRON, D.K.L. The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status

and to guide nitrogen fertilization of potato crop. **Potato Research**, v. 47, n. 1-2, p. 35-80, 2004.

GIL, P.T. de. **Índices e eficiência de utilização de nitrogênio pela batata influenciados por doses de nitrogênio em pré-plantio e em cobertura**. 2001. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

GIL, P.A. de; FONTES, P.C.R.; CECOM, P.R. & FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

GODOY, L.J.G.; BÔAS, R.L.V.; BULL, L.T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1049-1056, 2003.

GODOY, L.J.G.; BÔAS, R.L.V.; FILHO, H.G. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 2, p. 373-380, 2003.

GODOY, L.J.G.; SANTOS, T.S.; BÔAS, R.L.V.; JUNIOR, J.B.L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 217-226, 2008.

HAY, R.K.M. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. **Annals of Applied Biology**, v. 126, p. 197-216, 1995.

HAWKINS, J.A.; SAWYER, J.E.; BARKER, D.W.; LUNDEVALL, J.P. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1034-1040.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K.F.; SINGH, Y.; SINGH, B.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 875-879, 2000.

JEMISON, J.M.; LYTLE, D.E. Field evaluation of two nitrogen-testing methods in maize. **Journal Production Agriculture**, New York, v.9, n.1, p.108-113, 1996.

KLEINKOPF, G.E., et al. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. **Agronomy Journal**, v. 73, p. 799-802, 1981.

LI, H.; LÉON, E.P.; KARAM, A.; TREMBLAY, C. Efficiency of soil and fertilizer nitrogen of a sod-potato system in the humid, acid and cool environment. **Plant and Soil**, v. 251, p. 23-36, 2003.

LOVE, S.L.; STARK, J.C.; SALAIZ, T. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. **American Journal of Potato Research**, v. 82, p. 21-30, 2005.

MACKERRON, D.K.L. Perspectives for use in practice: How can assessment of plant and crop nitrogen status be used in practice. In: HAVERKORT, A.J.; MACKERRON, D.K.L. (ed.). **Management of nitrogen and water in potato production**. Wageningen: Wageningen Pers, 2000. p. 103–110.

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

MIAO, Y.; MULLA, D.J.; RANDALL, G.W.; VETSCH, J.A.; VINTILA, R. Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 45-62, 2009.

MILLARD, P.; MARSHALL, B. Growth, nitrogen uptake and partitioning within the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) in relation to nitrogen application. **Journal of Agricultural Science**, v. 107, p. 421-429, 1986.

MORH, R.; TOMASIEWICZ, D. Study suggests no consistent yield benefit to split N fertilization. **Fluid Journal**, p. 8-12, 2007. Disponível em: < <http://www.fluidfertilizer.com/pastart/pdf/57P8-12.pdf>>.

MALLMANN, N. Efeito da adubação na produtividade, qualidade e sanidade de batata cultivada no centro-oeste paranaense. **Scientia Agraria**, v.3, n.1-2, p.113-132, 2002.

NUNES, J.C.S.; FONTES, P.C.R.; ARAUJO, E.F.; SEDIYAMA, C. Potato plant growth and macronutrient uptake as affected by soil tillage and irrigation systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12. p. 1787-1792, 2006.

OLIVIER, M.; GOFFART, J.P.; LEDENT, J.F. Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 496-506, 2006.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F. da; STRIEDER, M.L.; SANGOI, L.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.407-417, 2007.

REIS, A.R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, p. 163-171, 2006.

RODRIGUES, M. A. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, n.13 e 14, p.2067-2085, 2004.

ROZAS, H.S.; ECHEVERRÍA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) em distintos estadios del ciclo del cultivo de maiz y El rendimiento em grano. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v.103, n. 1, p.37-44, 1998.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SCHARF, P.C.; BROUDER, S.M.; HOEFT, R.G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North-Central USA. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 655-665, 2006.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 2173-2187, 1992.

SHEPHERD, M.A. Using soil nitrogen status in practice: the need for decision support system. In: HAVERKORT, A.J.; MACKERRON, D.K.L. (ed.). **Management of nitrogen and water in potato production**. Wageningen: Wageningen Pers, 2000. p. p. 165–173.

SILVA, M.C.C. **Critérios para o manejo da adubação nitrogenada da batata em duas épocas de plantio**. 2007. 144 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; DIDONET, A.D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.

SINGH, V.; SINGH, B.; SINGH, Y. THIND, H.S.; GUPTA, R.K. Need based nitrogen management using the chlorophyll meter and leaf colour chart in rice and wheat in South Asia: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 3, p. 361-380, 2010.

STARK, J.; MCINTOSH, C.; LOVE, S. Evaluation of N uptake analysis as a tool for deterring potato N status. In: **Western Nutrient Management Conference**. 2007, v. 7. Salt Lake City, p. 45-50.

STEIBER, T. D.; MAHLER, R. L. **Cropping practices survey: fertilizer results**. Idaho: University of Idaho, 2003. 3 p.

TYLER, K.B.; BROADBENT, F.E.; BISHOP, J.C. Efficiency of nitrogen uptake by potatoes. **American Journal of Potato Research**, v. 60, n. 4, p. 261-269, 1983.

VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.61, p.1233-1239, 1997b.

VIEIRA, F. de C.; SUGIMOTO, L. S.; VITTI, G. C.; COSTA, M. C. Importância da adubação na cultura da batata. **Batata Show**, Itapetinga, v. 2, n. 5, p. 16-17, set. 2002.

VOS, J.; BOM, M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. **Potato Research**, v. 36, p. 301-308, 1993.

VOS, J. Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget. **Journal of Agricultural Science**, v. 133, p. 263–274, 1999.

VOS, J.; MACKERRON, D.K.L. Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production. In: HAVERKORT, A.J.; MACKERRON, D.K.L. (ed.). **Management of nitrogen and water in potato production**. Wageningen: Wageningen Pers, 2000. p. 15-33.

VOS, J. The nitrogen response of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. **Potato Research**, v. 40, p. 237-248, 1997.

YANG, J.E.; SLOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p.1108-1115, 1998.

WESTERMANN, D.T.; KLEINKOPF, G.E. Nitrogen requirements of potatoes. **Agronomy Journal**, v. 77, p. 616–621, 1985.

ZEBARTH, B. J.; LECLERC, Y.; MOREAU, G. Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: nitrogen use efficiency. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 84, p. 845-854, 2004.

ZEBARTH, B.J.; TARN, T.R.; De JONG, H.; MURPHY, A.M. Nitrogen Use Efficiency Characteristics of Andigena and Diploid Potato Selections. **American Journal of Potato Research**, v. 85, n. 3, p. 210-218, 2008.

CAPÍTULO 3

Valor e predição do nível crítico de índices na folha para avaliar o estado de N da planta estimados por dois procedimentos

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) destaca-se dos demais nutrientes por apresentar acentuado dinamismo no sistema solo e por ser, normalmente, o nutriente exigido em maior quantidade pelas culturas. Em função do seu elevado dinamismo, este nutriente é muito mais difícil de ser mantido no solo ao alcance das raízes quando comparado com os demais nutrientes. Portanto, dado ao seu baixo poder residual e grande exigência pelas culturas, a adubação nitrogenada precisa ser feita de forma muito mais precisa e constante que a dos demais nutrientes (Bélanger et al., 2003). A alta mobilidade do NO_3^- no solo justifica a preocupação em relação ao manejo da adubação nitrogenada em solos agrícolas (Zebarth et al., 2009), e o aumento da concentração de NO_3^- na água tem gerado grande discussão sobre os seus efeitos na saúde e no ambiente, estimulando pesquisas de caráter agroecológico no mundo inteiro, principalmente em países desenvolvidos da Europa e da América do Norte (Addiscott, 2000; Gasser et al., 2002).

A cultura da batata é altamente responsiva às alterações ambientais, inclusive àquelas de origem edáfica, principalmente relativo à

fertilidade (Bregagnoli et al., 2003). O nitrogênio (N) é essencial para o crescimento e desenvolvimento da cultura da batata e tanto a deficiência quanto o excesso de N decresce a produção de tubérculos. De uma maneira ampla, para a produção esperada de 1000 kg de tubérculos são necessários 6,2 kg de N (Fontes, 1997). No entanto, a utilização indiscriminada de fertilizantes está presente nas áreas de cultivos de batata e, em consequência desse uso excessivo, ocorre o aumento do custo de produção, além da redução da qualidade dos tubérculos e risco da contaminação ambiental.

Na recomendação da adubação nitrogenada para as condições brasileiras, o teor de matéria orgânica do solo tem sido utilizado como o principal indicador da disponibilidade de N. No entanto, considerando que o sistema de recomendação deve estar em constante aperfeiçoamento, uma melhoria potencial seria a inclusão de características da planta que permitissem o monitoramento da disponibilidade de N durante o ciclo da cultura, visando maior precisão e flexibilidade no manejo do N. Para a batata, são citadas as análises rápidas ou em tempo real na planta envolvendo a utilização da tabela de cor (Silva & Fontes, 2006), teor de nitrato no suco celular (Majic et al., 2009) e clorofilômetro SPAD-502 (Coelho et al., 2010). Normalmente, esses índices são interpretados utilizando-se o critério de concentração ou faixa crítica de concentração (Fontes, 2011).

Para ser útil em estratégias destinadas a decidir sobre a necessidade de adubação complementar com N, valores relativos dos índices de diagnóstico do estado de N da planta precisam ser comparados com níveis críticos (NC). Tais níveis críticos podem ser conceituados como sendo os valores abaixo do qual a produção pode ser limitada, devido a quantidade insuficiente de N (Goffart et al., 2008). Diferentes metodologias para o cálculo do NC pode ser obtida em Fontes (2011). Para batata, grande parte dos trabalhos encontrados na literatura utilizam a produtividade relativa da cultura para o cálculo do nível crítico (Rodrigues et al., 2004).

O estabelecimento de níveis críticos e a sua avaliação podem ser uma informação útil para agricultores decidirem sobre a recomendação de

N em suas lavouras. A forma tradicional de se obter níveis críticos passa por ensaio de calibração da produtividade vegetal em função do teor de um nutriente ou índice na planta. Segundo Walworth & Sumner (1988) muitos pesquisadores conduzem experimentos variando a dose do nutriente no solo, obtendo a produtividade e a concentração do nutriente no tecido vegetal. Essas concentrações são ajustadas em função das produtividades, utilizando-se modelos matemáticos, como Mitscherlich, quadrática, exponencial, entre outros. Em muitos casos, o nível crítico corresponde à concentração do nutriente associado a 90, 95 ou mesmo 99 % da produtividade máxima. No entanto, o valor do nível crítico varia em função de diversos fatores entre os quais, genótipo, órgão analisado, idade da planta e da folha, modelo matemático utilizado para o cálculo, não sendo possível a utilização de um nível crítico universal.

Objetivou-se estabelecer níveis críticos do índice SPAD, ângulo Hue, teor de N-total e massa da matéria seca da quarta-folha da batateira pelo procedimento gráfico de Cate-Nelson e matemático e utilizar tais níveis críticos para a predição do estado de N da planta com base na produtividade relativa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização das áreas experimentais

Esses tópicos foram descritos no Capítulos 1.

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N) aplicadas no sulco em pré-plantio, sendo utilizada com fonte de N a uréia (44% de N). Os experimentos foram instalados no delieamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, no período de inverno (“safra de inverno”) e no período chuvoso (“safra das águas”).

2.3. Instalação e condução dos experimentos no campo

Todos os procedimentos realizados com a cultura no campo estão detalhados no Capítulo 1.

2.4. Características analisadas

A partir dos valores de nível crítico das variáveis analisadas e da produtividade relativa determinados nas safras “de inverno” e das “águas”, Capítulo 1, foram analisadas as relações existentes entre essas duas características de acordo com os procedimentos estabelecidos por Cate-Nelson (1987) e modificados por Fox et al. (2001). Para tal, os valores de

nível crítico estimados para cada índice de avaliação do estado de N da planta, índice SPAD, ângulo Hue, teor de N-total e massa da matéria seca da quarta-folha, determinados aos 21 dias após e a emergência, foram plotados no eixo X e a produtividade relativa no eixo Y. Considerou-se como 98 % do rendimento relativo o nível crítico obtido com a linha traçada do eixo horizontal. Este valor foi escolhido baseando-se em trabalhos de Coelho et al. (2010), Fontes et al. (2010) e nos dados do Capítulo 1 da tese, onde as produtividades estimadas com a dose de máxima eficiência econômica tem ficado em torno de 98 % da máxima produtividade física de tubérculos de batata

Os valores de nível crítico plotados no eixo X foram estimados no Capítulo 1 e utilizados em conjunto com o valor crítico do eixo Y para definir os erros ou “outliers”. Assim, de acordo com a análise gráfica, os dados que se encontram no quadrante superior esquerdo contêm os erros ou “outliers” dos tratamentos que superestimaram a necessidade de N, ou seja, mostraram que as plantas do tratamento eram deficientes em N, mas que, na verdade, havia N suficiente para atingir o rendimento máximo. Já os dados que se encontram no quadrante inferior direito contêm os erros dos tratamentos que subestimaram a necessidade de N, ou seja, indicaram que as plantas do tratamento não eram deficientes em N mas, de fato, haveria a necessidade de se aplicar mais N para atingir o rendimento máximo. As observações que ficaram plotadas nos quadrantes superior esquerdo e quadrante inferior direito foram consideradas como sendo os erros, pois os valores dos índices do estado de N observados ficaram abaixo do nível crítico estimado e apresentaram produtividade relativa superior a 98 % ou, os valores dos índices ficaram acima do nível crítico e apresentaram produtividade relativa abaixo de 98 %.

Pelo método gráfico de Cate-Nelson e, a partir das equações de regressão estimadas pela relação entre produtividade relativa e índice SPAD, ângulo Hue, teor de N-total e massa da matéria seca da quarta-folha foram calculados os níveis críticos utilizando-se 100, 99, 98, 95 e 90 % da produtividade comercial relativa.

A partir das doses de 252 kg ha⁻¹ e 279 kg ha⁻¹ de N estimadas no Capítulo 1 para se obter as produtividades de máxima eficiência econômica

nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente, estimou-se níveis críticos associados a 100, 99, 98, 95 e 90 % dessas respectivas doses. Para tal as doses de 252; 249,5; 247; 239,4 e 226,8 kg ha⁻¹ N, na safra “de inverno” foram substituídas nas equações de regressão (Tabela 1) das variáveis em função de doses de N. Para a safra “das águas” as doses utilizadas foram 279; 276,2; 273,4; 265 e 251,1 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 1. Equações de regressão ajustadas a partir dos dados de índice SPAD, ângulo Hue, teor de N-total (g kg⁻¹) e massa da matéria seca da quarta folha (MSQF), em mg, determinados aos 21 dias após a emergência em função de doses de N, nas “safras de inverno” e “das águas”.

Variável	Equação regressão	R ²
----- Safra “de inverno” -----		
SPAD	$Y = 39,0 + 0,02521^{**}N$	0,99
Ângulo Hue	$Y = 114,6 + 0,06174^{**}N - 0,000167^{**}N^2$	0,98
Teor de N-total	$Y = 42,1 + 0,09837^{**}N - 0,00021^{*}N^2$	0,98
MSQF	$Y = 359,8 + 0,28900^{**}N - 0,00540^{*}N^2$	0,99
----- Safra “das águas” -----		
SPAD	$Y = 37,2 + 0,03341^{**}N$	0,97
Ângulo Hue	$Y = 111,5 + 0,0261^{*}N - 0,000048^{*}N^2$	0,96
Teor de N-total	$Y = 26,7 + 0,07017^{**}N$	0,92
MSQF	$Y = 253,2 + 1,36040^{**}N$	0,92

** , * e °: significativo a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t”.

3. RESULTADOS

3.1. Índice SPAD na quarta-folha

Os valores da relação entre o índice SPAD e a produtividade relativa são apresentados na Figura 1. Pela análise gráfica proposta por Cate-Nelson verifica-se que utilizando-se os níveis críticos estimados de 45,4 e 46,5 resultou em erros de 30 e 10 %, nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente.

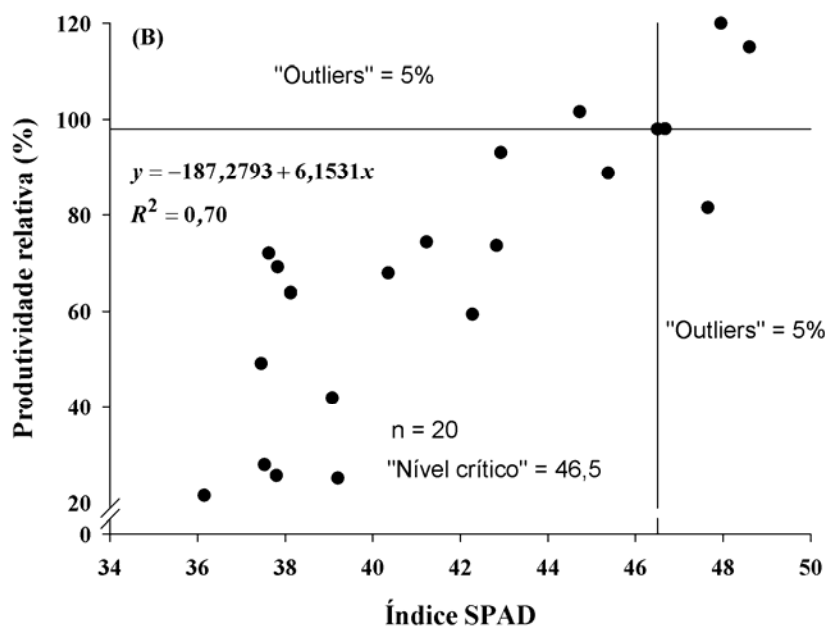
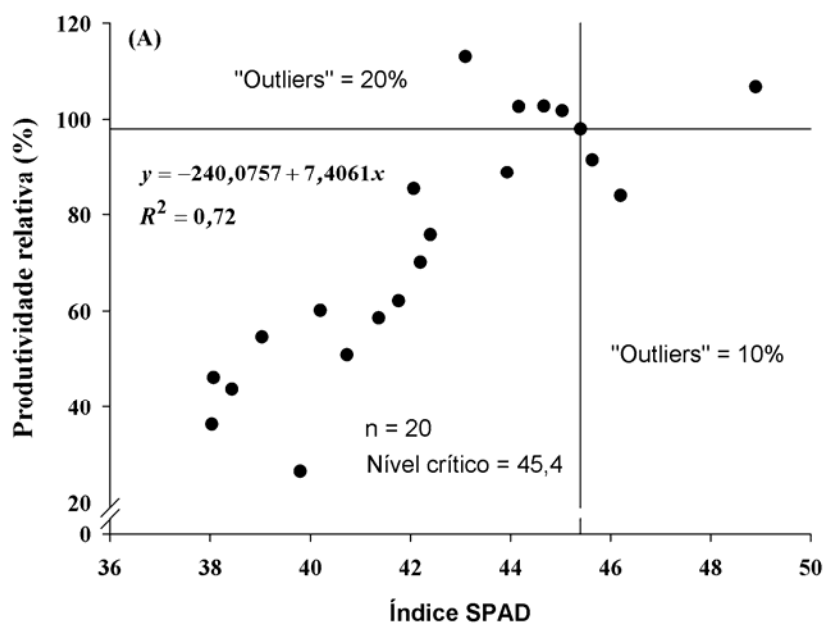


Figura 1. Análise gráfica de Cate-Nelson da relação entre os valores de nível crítico SPAD determinados na quarta-folha da batata, aos 21 dias após a emergência, e a produtividade relativa de tubérculos na colheita, nas safras “de inverno” (A) e “das águas” (B).

3.2. Ângulo Hue na quarta-folha

Os valores da relação entre o ângulo Hue e a produtividade relativa são apresentados na Figura 2. Pela análise proposta por Cate-Nelson para

o ângulo Hue verifica-se que utilizando-se os níveis críticos estimados de 119,6 na safra “de inverno” e 115 na safra “das águas” resultou em erros de 25 e 15 %, respectivamente.

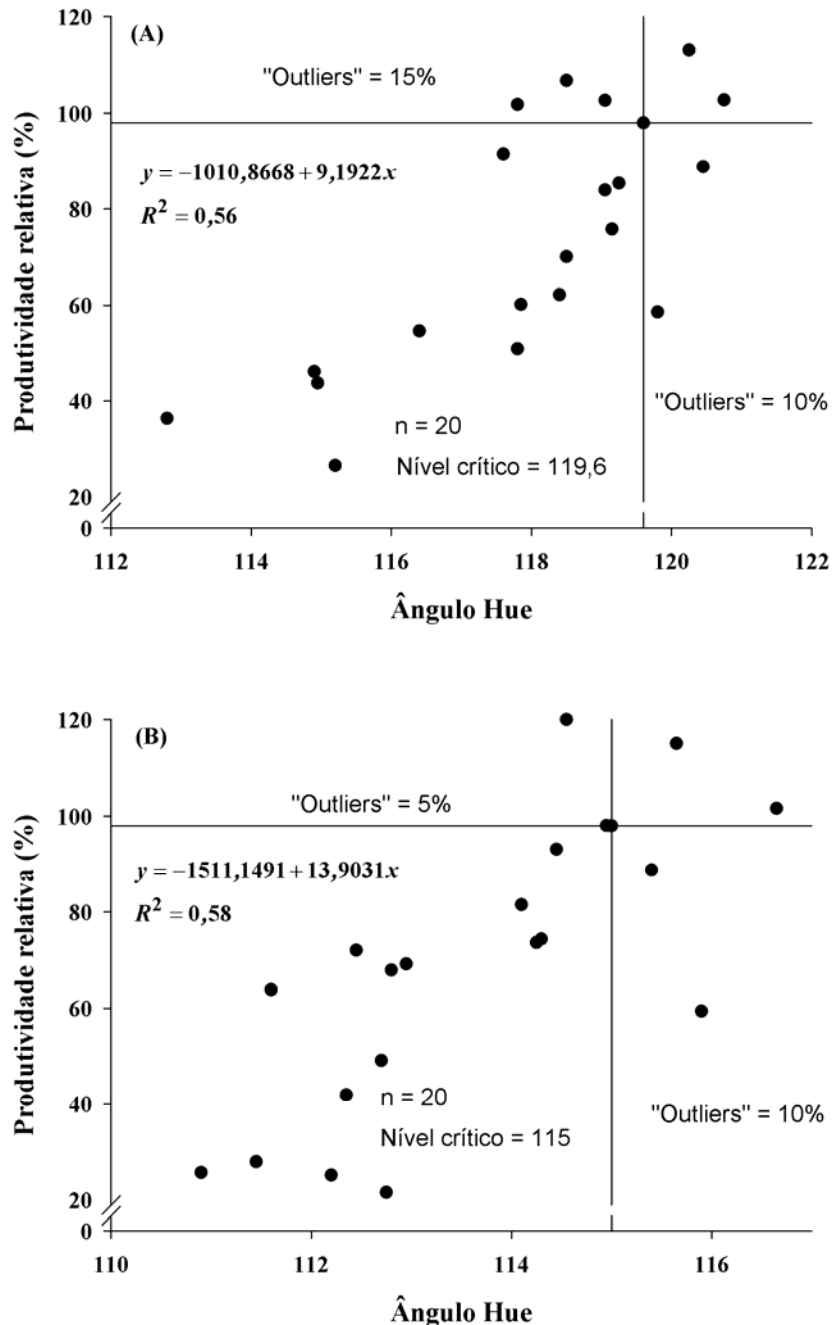
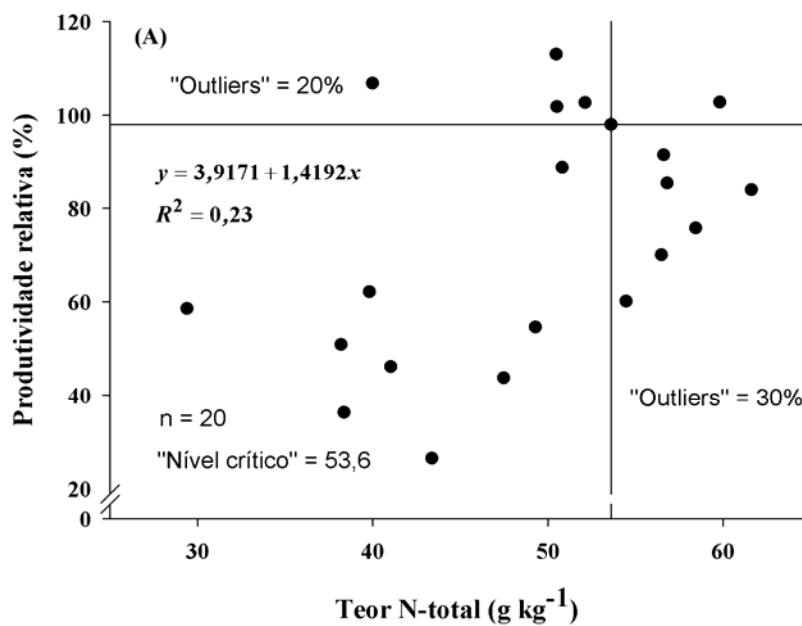


Figura 2. Análise gráfica de Cate-Nelson da relação entre os valores de nível crítico do ângulo Hue determinados na quarta-folha da batata, aos 21 dias após a emergência, e a produtividade relativa de tubérculos na colheita, nas safras “de inverno” (A) e “das águas” (B).

3.3. Teor de N total na quarta-folha

Os valores da relação entre o teor de N-total na QF e a produtividade relativa são apresentados na Figura 3. Pela análise proposta por Cate-Nelson para o ângulo Hue verifica-se que utilizando-se os níveis críticos estimados de 53,6 na safra “de inverno” e 46,3 na safra “das águas” resultou em erros de 50 e 5 %, respectivamente.



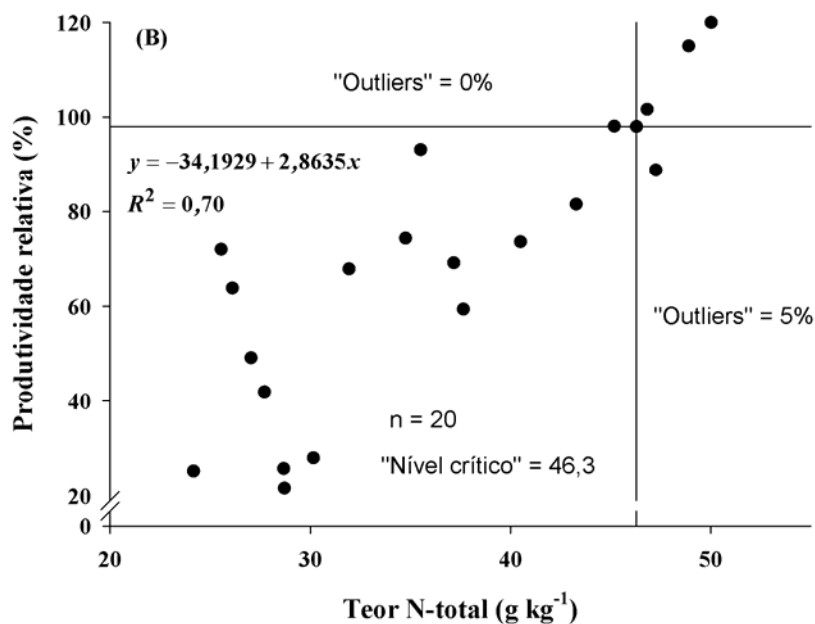


Figura 3. Análise gráfica de Cate-Nelson da relação entre os valores de nível crítico do teor de N-total determinados na massa da matéria seca da quarta-folha da batata, aos 21 dias após a emergência, e a produtividade relativa de tubérculos na colheita, nas safras “de inverno” (A) e “das águas” (B).

3.4. Massa da matéria seca da quarta-folha

Os valores da relação entre a massa da matéria seca da quarta-folha e a produtividade relativa são apresentados na Figura 4. Pela análise gráfica proposta por Cate-Nelson verifica-se que utilizando-se os níveis críticos estimados de 745,4 e 632,7 mg resultou em erros de 10 e 15 %, nas safras “de inverno” e “das águas”, respectivamente.

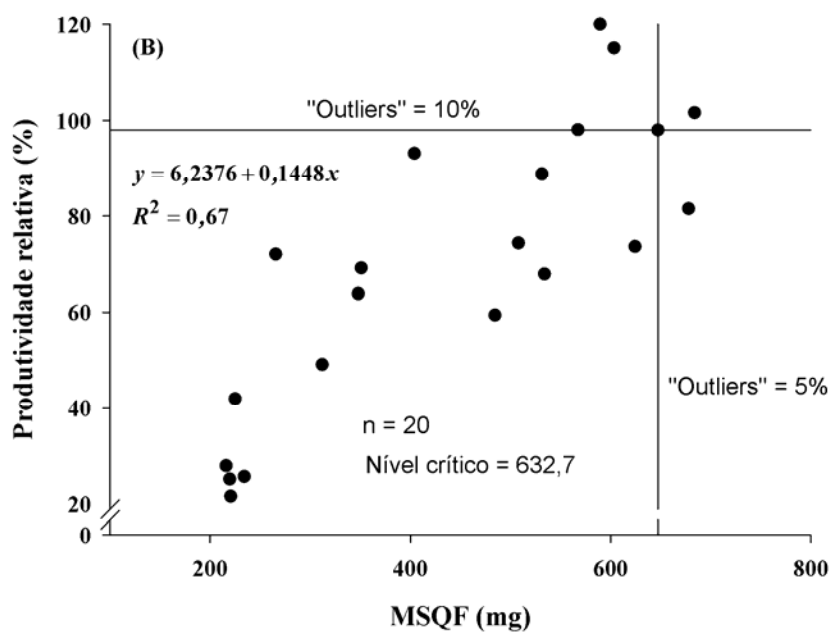
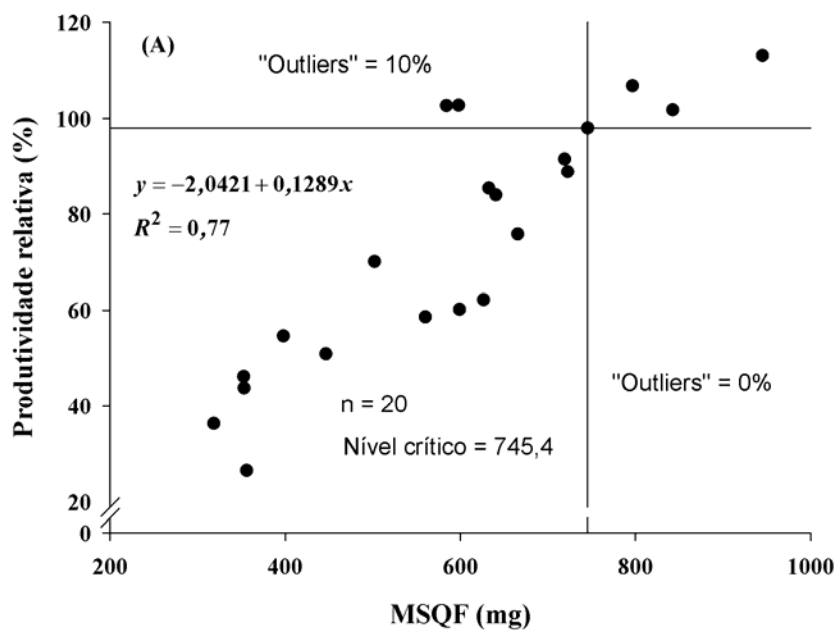


Figura 4. Análise gráfica de Cate-Nelson da relação entre os valores de nível crítico da massa da matéria seca da quarta-folha (MSQF) da batata, aos 21 dias após a emergência, e a produtividade relativa de tubérculos na colheita, nas safras “de inverno” (A) e “das águas” (B).

3.5. Níveis críticos estimados pelo gráfico de Cate-Nelson e associado a dose de máxima eficiência econômica

Os níveis críticos estimados pelo método gráfico de Cate-Nelson e associado a dose de máxima eficiência econômica em várias percentagens da produtividade relativa e da dose de máxima eficiência econômica nas safras “de inverno” e “das águas” são apresentados nas Tabela 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Valores críticos do índice SPAD, ângulo hue, teor N total (kg^{-1}) e massa da matéria seca da quarta-folha (MSQF, em mg), determinados na quarta-folha da batateira aos 21 dias após a emergência estimados pelo gráfico de Cate-Nelson (NC gráfico) e pela associação da dose de máxima eficiência econômica (NC MEE), em várias percentagens da produtividade relativa e da dose de máxima eficiência econômica, na safra “de inverno”.

Característica	Método	Percentagem do máximo				
		100	99	98	95	90
SPAD	Gráfico	45,9	45,8	45,6	45,2	44,6
	MEE	45,4	45,3	45,2	45,0	44,7
Ângulo hue	Gráfico	120,8	120,7	120,6	120,3	119,8
	MEE	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
N-total	Gráfico	67,7	67,0	66,3	64,2	60,7
	MEE	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6
MSQF	Gráfico	791,6	783,9	776,1	752,8	714,1
	MEE	745,4	744,9	744,4	742,4	737,7

Tabela 3 – Valores críticos do índice SPAD, ângulo hue, teor N total (g kg^{-1}) e massa da matéria seca da quarta-folha (MSQF, em mg), determinados na quarta-folha da batateira aos 21 dias após a emergência estimados pelo gráfico de Cate-Nelson (NC gráfico) e pela associação da dose de máxima eficiência econômica (NC MEE), em várias percentagens da produtividade relativa e da dose de máxima eficiência econômica, na safra “das águas”.

Característica	Método	Percentagem do máximo				
		100	99	98	95	90
SPAD	Gráfico	46,7	46,5	46,4	45,9	45,1
	MEE	46,5	46,4	46,3	46,1	45,6
Ângulo hue	Gráfico	115,9	115,8	115,7	115,5	115,2
	MEE	115,0	115,1	115,1	115,1	115,0
N-total	Gráfico	46,9	46,5	46,2	45,1	43,4
	MEE	46,3	46,1	45,9	45,3	44,3
MSQF	Gráfico	647,5	640,6	633,7	613,0	578,5
	MEE	632,7	628,9	625,1	613,7	594,8

4. DISCUSSÃO

Para a prática racional de adubação, otimizando recursos econômicos e ambientais, é necessário um criterioso estudo de calibração. O nível crítico nesses estudos é definido como a concentração do nutriente que corresponde à disponibilidade necessária para atingir a produção de máxima eficiência econômica (Alvarez V., 1994). Baseados na relação entre os indicadores do estado de N e a produtividade, diferentes pesquisadores utilizam o conceito de nível crítico baseando-se na redução de 5 a 10 % da sua performance máxima (Epstein & Bloom, 2005; Fontes et al., 2011). O método gráfico de Cate-Nelson é largamente utilizado tanto na sua forma original ou modificado pela fixação da linha na horizontal em valores arbitrários da produtividade relativa (Sims et al., 1995; Piekielek et al., 1995).

Os vários modelos que expressam a relação entre dose de N e a performance da planta ou o índice determinado na folha são variáveis e complexas podendo gerar valores de nível crítico discrepantes. Além disso, fatores que proporcionarem mudanças diferenciadas na taxa de crescimento

e absorção do N favorecerão diferentes concentrações do nutriente no tecido, provocando mudanças do nível considerado crítico (Fontes, 2011).

Os “outliers” (erros) associados aos níveis críticos correspondem a falhas no diagnóstico (situação em que a recomendação do N não seria necessária e vice-versa) e foi usado para comparar a acurácia relativa de indicadores para a diagnose da necessidade de complementação com N. Para a safra “de inverno” verificou-se pelo procedimento de Cate-Nelson que a percentagem de observações que ficaram no quadrante inferior direito do gráfico, indicando que o tratamento era deficiente em N, mas de fato, haveria a necessidade de se aplicar mais N para atingir o rendimento máximo, indicando erros, foi de 10 % para o índice SPAD, 10 % para o ângulo Hue, 30 % para o teor de N e 0 % para a MSQF. Para a safra “das águas”, a percentagem de observações que ficaram no quadrante inferior direito do gráfico foi de 5, 10, 5 e 10 % para o índice SPAD, ângulo Hue, teor de N-total e MSQF, respectivamente.

Para um método ser aceitável de ser usado pelos agricultores, a probabilidade do teste em prever a suficiência de N, quando na verdade a planta encontra-se deficiente, deve ser baixa (Fox et al., 2001). No presente experimento, dos índices de diagnósticos analisados, o nível crítico de 56,3 para o teor de N na matéria seca da quarta-folha na safra de inverno não foi o índice mais apropriado para separar as plantas deficientes das não deficientes. Nesse caso, houve 30 % de falso-negativo, ou seja, 30 % dos tratamentos apresentaram-se acima do nível crítico, mas, no entanto, haveria a necessidade de se aplicar mais N para atingirem 98 % do rendimento máximo. Neste sentido, o nível crítico mais adequado foi obtido com a massa da matéria seca da quarta-folha não sendo verificado nenhum tratamento que subestimou a necessidade de N na “safra de inverno” e o teor de N-total para a safra “das águas”, apresentando erro de 5%. Rodrigues (2004), trabalhando com seis doses de N em pré-plantio (0 a 300 kg ha⁻¹) na forma de uréia na cultura da batata, verificou que pela metodologia gráfica de Cate-Nelson houve erro de 25 % quando usou o nível crítico do teor de N na folha; para o índice SPAD foi 12,5 % e para o teor de nitrato no suco celular foi 16,7 %, determinados aos 20 DAE. Ainda segundo o autor, a acurácia dos métodos de diagnose não melhorou durante o ciclo

da cultura (10 aos 48 DAE), podendo a diagnose ser realizada precocemente, possibilitando proceder a complementação com N enquanto a demanda de N pelas plantas é alta. No entanto, Vos & Bom (1993) citam que o uso do clorofilômetro em estágio precoce do crescimento da batata, geralmente, fornece resultados inconsistentes não sendo possível estabelecer relações satisfatórias entre a intensidade do verde da folha e a produtividade. Segundo Cadahía & Lucena (2000), quando se comparam os diferentes métodos de diagnósticos, conclui-se que os métodos bioquímicos apresentam excessiva variabilidade, devido à pequena quantidade de material analisada, enquanto que os métodos visuais e de análise foliar apresentam pouca variabilidade pois nestes casos as amostras obtidas são mais representativas.

A estimativa do valor do nível crítico de cada variável pelo método gráfico, na safra “de inverno”, forneceu valor aparentemente superior do que o correspondente nível crítico estimado com base na dose de máxima eficiência econômica, não ocorrendo o mesmo na safra “das águas” (Tabela 2). Esta aparente discrepância de valores entre os dois procedimentos para estimar o nível crítico pode ser atribuído a maior sensibilidade do método matemático em relação a dispersão dos pontos, à dificuldade dos modelos curvilíneos em ajustar os dados separando as regiões de suficiência e deficiência de N e, também, pode ser que o cálculo do nível crítico pelo procedimento gráfico foi feito utilizando-se os valores relativos obtidos em cada repetição e assumindo a maior produtividade relativa como sendo aquela associada a dose de máxima eficiência econômica.

Ao comparar valores de níveis críticos, deve-se levar em consideração a forma pela qual os mesmos foram determinados (Black, 1993). Fontes et al. (2002) verificaram em tomate que o valor do nível crítico determinado para o índice SPAD, teor de nitrato no suco celular e teor de N na folha variaram de acordo com o procedimento estatístico para as determinações dos referidos níveis.

Conceitualmente, há tempos, o nível crítico vem sendo definido como o índice ou a concentração do nutriente com a qual a planta terá 10 % de redução na sua máxima produtividade física. No entanto, para Fontes (2011) há situações em que 10 % de redução na performance máxima é

inaceitável, pelo valor da cultura em relação ao custo do fertilizante. Assim, pelo fato da batata ser responsiva à adição de N, pela relatividade de preços de batata/adubo e pelos dados observados neste trabalho é plausível trabalhar com nível crítico associado a 98 % da produtividade física. A escolha do procedimento a ser utilizado para a estimativa do valor do nível crítico deve ser baseado em critérios para a escolha do modelo estatístico que descreve a relação entre a dose do nutriente e o índice de diagnóstico. Dentre esses critérios deve-se considerar a lógica biológica do fenômeno, significância do quadrado médio da regressão, alto valor do coeficiente de determinação e significância dos parâmetros da regressão (Alvarez V.; 1994). Além destes critérios é preciso considerar que o valor do nível crítico deve ser aquele em que, acima do qual, não há aumento na produção econômica.

5. RESUMO E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3

Independente do índice de nitrogênio (N) utilizado, a existência de valores aceitos como concentração crítica é necessária para serem usados como padrão de referência. Objetivou-se estabelecer níveis críticos do índice SPAD, ângulo Hue, teor de N-total e massa da matéria seca da quarta-folha da batateira cv Ágata por dois métodos e utilizar tais níveis críticos para a predição do estado de N da planta com base na produtividade relativa. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, em duas épocas de cultivo. Os tratamentos foram 5 doses de N aplicado em pré-plantio (0; 50; 100; 200 e 300 kg ha⁻¹ de N), na forma de uréia. O delineamento foi em blocos ao acaso com 4 repetições. A cultivar de batata utilizada foi a Ágata. Aos 21 dias após a emergência foram determinados o índice SPAD, teor de N-total, ângulo Hue e a massa da matéria seca (MSQF) da quarta-folha a partir do ápice da batateira. Para o cálculo do valor do nível crítico foram utilizados o procedimento gráfico de Cate-Nelson e matemático. Os erros da predição do diagnóstico do estado de N, a partir dos níveis críticos, foram estimados a partir do método gráfico de Cate-

Nelson, quantificando-se a porcentagem de observações localizadas nos quadrantes negativos. A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- houve aparente discrepância no valor do nível crítico dos índices de N utilizando-se os dois procedimentos de cálculo;

- na safra “de inverno”, os erros dos níveis críticos do índice SPAD, ângulo Hue, teor de N e MSQF para a predição do diagnóstico do estado de N da planta foram de 30, 25, 50 e 10 %, respectivamente;

- na safra “das águas”, os erros dos níveis críticos do índice SPAD, ângulo Hue, teor de N e MSQF para a predição do diagnóstico do estado de N da planta foram de 10, 15, 10 e 20 %, respectivamente;

- os resultados obtidos demonstraram que os níveis críticos determinados aos 21 DAE são adequados para fazer avaliações relativamente precisas de suficiência de N em um estágio precoce de avaliação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCTOTT, T.M. Tillage, mineralization and leaching – foreword. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 163-165, 2000.

ALVAREZ V., H. **Avaliação da fertilidade do solo (Superfície de resposta modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta)**. Viçosa: UFV, 1994. 75 p.

BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; WALSH, J.R.; RICHARDS, J.E.; MILBURN, P.H. Residual soil nitrate after potato harvest. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 607-612, 2003.

BLACK, C.A. **Soil Fertility Evaluation and Control**. Lewis Publishers: Boca Raton, Florida, 1993; 746 p.

BREGAGNOLI, M.; BREGAGNOLI, F.C.R.; MINAMI, K.; GRATIERI, L.A.; MINCHILLO, M. Análise bromatológica de sete cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas na safra de verão no Sul de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 387-387, 2003.

CADAHÍA, C.; LUCENA, J.J. Diagnostico de nutrición y recomendaciones de abonado. In: CADAHÍA, C. **Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales**. 2 ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. p. 173-246.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data in two classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 658-660, 1987.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; PUIATTI, M.; NEVES, J.C.L. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2 ed. Sinauer Associates, 2005. 400 p.

FONTES, P.C.R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa: UFV, 1997. 42 p.

FONTES, P.C.R. RONCHI, C.P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1421-1429, 2002.

FONTES, P.C.R.; BRAUN, H.; BUSATO, C.; CECON, P.R. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. **Potato Research**, v. 53, p. 167-179, 2010.

FONTES, P.C.R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. Viçosa, MG: Arka Editora, 2011. 296p.

FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P.; MACNEAL, K.E. Comparison of Late-Season Diagnostic Tests for Predicting Nitrogen Status of Corn. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 3, 590-597, 2001.

GASSER, M.O.; LAVERDIÈRE, M.R.; LAGACÉ, R.; CARON, J. Impact of potato-cereal rotations and slurry applications on nitrate leaching and nitrogen balance in sandy soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 82, p. 469- 479, 2002.

GOFFART, J.P.; OLIVIER, M.; FRANKINET, M. Potato crop nitrogen status assessment to improve n fertilization management and efficiency: past–present–future. **Potato Research**, v. 51, p. 355-383, 2008.

MAJIC, A.; POLJAK, M.; SABLJO, A.; SEFO, E.; KNEZOVIC, Z. Nitrate-nitrogen rates in petiole sap of potato crop (*Solanum tuberosum*). **Acta Horticulturae**, v. 846, p. 333-338, 2009.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H.; TOTH, J.D.; MACNEAL, K.E. Use of chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 403-408, 1995.

RODRIGUES, M.A. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 13/14, p. 2067-2085, 2004.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R. Proposição de uma tabela de cor (UFV 80-Monalisa) para a avaliação do estado de nitrogênio da batateira. **Revista Batata Show**. Ano 6, n. 16, 2006.

SIMS, J.T.; VASILAS, B.L.; GARTLEY, K.L.; MILLIKEN, B.; GREEN, V. Evaluation of soil and plant nitrogen test for maize on manured soils of the Atlantic Coastal Plain. **Agronomy Journal**, v. 87, 213-222, 1995.

VOS, J.; BOM, M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. **Potato Research**, v. 36, p. 301-308, 1993.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. Foliar diagnosis: A review. **Advances in Plant Nutrition**, v.3, p.193-24, 1988.

ZEBARTH, B.J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: a review. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, n. 2, p. 113-132, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1A - Resumo da análise de variância (ANAVA) da análise conjunta dos dados da produtividade total e comercial de tubérculos (kg ha^{-1}) e número de tubérculos em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)		
		Produtividade total	Produtividade comercial	Número de tubérculos
Bloco/Época	6	21703840 ^{ns}	13365650 ^{ns}	3,800463 ^{**}
Época	1	1807561000 ^{**}	1257538000 ^{**}	46,73116 ^{**}
Dose	4	765478900 ^{**}	7338259000 ^{**}	208,5444 ^{**}
Dose x Época	4	28335780 ^{ns}	22247270 ^{ns}	2,962413 ^{ns}
Resíduo	24	14540740	13254970	3,925608
Média geral		28412,0	24512,0	10,5
CV (%)		13,4	14,9	19,0

^{**}, ^{*} e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 2A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para o índice SPAD, ângulo Hue, cromaticidade, luminosidade determinados aos 21 dias após a emergência (DAE) na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)			
		Índice SPAD	Ângulo Hue	Cromaticidade	Luminosidade
Bloco/Época	6	1,848317 ^{ns}	0,5282917 ^{ns}	0,3301667 ^{ns}	0,5324583 ^{ns}
Época	1	5,172007 ^{ns}	185,3302 ^{**}	138,3840 ^{**}	131,4062 ^{**}
Dose	4	100,5507 ^{**}	24,22881 ^{**}	67,79587 ^{**}	25,92272 ^{**}
Dose x Época	4	3,696990 ^{ns}	3,340562 [*]	8,100250 ^o	6,396719 [*]
Resíduo	24	2,128230	0,8606875	3,550896	2,065219
Média geral		41,9	115,8	25,2	38,1
CV (%)		3,5	0,9	7,5	3,8

^{**}, ^{*} e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 3A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para os teores de clorofila total, *a*, *b* e *a/b* ($\mu\text{g cm}^{-2}$) determinados aos 21 dias após a emergência (DAE) na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)			
		Teor CHLtotal	Teor CHLa	Teor CHLb	Teor CHLa/b
Bloco/Época	6	479,3889*	25,21489 ^{ns}	280,8262*	0,329172**
Época	1	16944,18**	6170,895**	2257,750**	0,1088249 ^{ns}
Dose	4	3811,059**	307,1146**	1829,827**	1,334430**
Dose x Época	4	198,4395 ^{ns}	7,5795 ^{ns}	117,0631 ^{ns}	0,035782 ^{ns}
Resíduo	24	161,3849	21,05829	87,34576	0,066763
Média geral		197,3	130,7	66,3	2,1
CV (%)		6,4	3,5	14,1	12,4

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F

Tabela 4A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para os teores de nitrato, Norgânico e Ntotal (g kg^{-1}) determinados aos 21 DAE na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)		
		Teor nitrato	Teor Norgânico	Teor Ntotal
Bloco/Época	6	0,323187 ^{ns}	74,83519°	68,44341 ^{ns}
Época	1	1,052511°	1579,196**	1661,787**
Dose	4	4,153858**	275,0177**	344,8871**
Dose x Época	4	0,154321 ^{ns}	47,87538 ^{ns}	49,46117 ^{ns}
Resíduo	24	0,2579016	36,08623	37,49267
Média geral		1,2	41,2	42,3
CV (%)		44,0	14,6	14,5

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 5A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para os conteúdos de nitrato, Norgânico e Ntotal (mg folha⁻¹) determinados aos 21 DAE na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)		
		Conteúdo Nitrato	Conteúdo Norgânico	Conteúdo Ntotal
Bloco/Época	6	0,197899 ^{ns}	22,9993 ^{ns}	23,49928 ^{ns}
Época	1	1,206307*	1425,146**	200,8903*
Dose	4	2,345185**	693,6028**	1358,303**
Dose x Época	4	0,0894456 ^{ns}	18,21877 ^{ns}	116,8785°
Resíduo	24	0,1581905	28,20133	44,57392
Média geral		0,7	22,1	26,7
CV (%)		56,8	24,1	25,1

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 6A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para o índice SPAD, ângulo Hue, cromaticidade, luminosidade determinados aos 42 dias após a emergência (DAE) na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)			
		Índice SPAD	Ângulo Hue	Croma-ticidade	Lumino-sidade
Bloco/Época	6	8,531146*	6,841729*	3,436646 ^{ns}	3,26779 ^{ns}
Época	1	56,60434**	112,7281**	4,865062 ^{ns}	0,09025 ^{ns}
Dose	4	149,0843**	31,89556**	99,21166**	39,61616**
Dose x Época	4	2,24658 ^{ns}	0,576813 ^{ns}	9,882094 ^{ns}	1,79259 ^{ns}
Resíduo	24	2,686626	2,68173	5,273417	3,054875
Média geral		38,3	113,8	28,1	40,1
CV (%)		4,3	1,4	8,2	4,4

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F

Tabela 7A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para os teores de clorofila total, *a*, *b* e *a/b* ($\mu\text{g cm}^{-2}$) determinados aos 42 dias após a emergência (DAE) na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)			
		Teor CHLtotal	Teor CHLa	Teor CHLb	Teor CHLa/b
Bloco/Época	6	304,6702 ^o	75,5643 ^{ns}	76,70503*	0,131617*
Época	1	1846,281**	1143,353**	116,6710*	0,85533**
Dose	4	5161,996**	1566,185**	1122,484**	1,468843**
Dose x Época	4	44,1137 ^{ns}	64,84593 ^{ns}	19,62993 ^{ns}	0,146612*
Resíduo	24	137,6520	43,0657	29,49077	0,04363
Média geral		159,2	114,9	44,5	2,9
CV (%)		7,4	5,8	12,2	7,32

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F

Tabela 8A - Resumo da ANAVA da análise conjunta para os teores de nitrato, Norgânico e Ntotal (g kg^{-1}) determinados aos 42 DAE na quarta-folha da batateira em função de doses de N nas safras “de inverno” e das “águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)		
		Teor nitrato	Teor Norgânico	Teor Ntotal
Bloco/Época	6	0,034318 ^{ns}	23,15317 ^{ns}	24,57527 ^{ns}
Época	1	0,031448 ^{ns}	1189,807**	1177,604**
Dose	4	3,16780**	223,4373**	279,3592**
Dose x Época	4	0,065215 ^{ns}	6,88906 ^{ns}	6,4832 ^{ns}
Resíduo	24	0,1104589	19,41513	20,8034
Média geral		0,8	37,9	38,7
CV (%)		43,0	11,6	11,8

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 9A - Resumo da análise de regressão dos dados da produtividade total (PT) e comercial de tubérculos (PC), kg ha^{-1} , e número de tubérculos (NT), índice SPAD, ângulo hue ($^{\circ}\text{h}$), cromaticidade (C), luminosidade (L), teores de nitrato (TN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (TN-Norg) e nitrogênio total (TN-Ntotal), conteúdos de nitrato (CN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (CN-Norg) e nitrogênio total (CN-Ntotal), teores extraível de clorofila a (CHLa), b (CHLb,) total (CHLtotal) e a/b (CHLa/b) e índices de flavonóis (IFLV), de clorofila (ICHL) e balanceado de nitrogênio (IBN) em função de doses de N aos 21 dias após a emergência na safra “de inverno”.

Característica	GL	Quadrados médios
PT	2	235,9980*
PC	2	255,7067*
NT	2	6,69661**
SPAD	1	36,85248**
$^{\circ}\text{h}$	2	9,209606**
C	2	19,86579**
L	2	7,757860*
TN- NO_3^-	2	1,148106*
TN-Norg	2	28,70370*
TN-Ntotal	2	41,30125*
CN- NO_3^-	1	1,37598**
CN-Norg	2	177,3791**
CN-Ntotal	2	201,0237**
CHLa	2	81,13750**
CHLb	1	1309,060**
CHLtotal	1	2588,358**
CHLa/b	1	0,789989**
IFLV	-	-
ICHL	-	-
IBN	-	-

** , * e ° : Significativos a 1, 5 e 10 % para teste F, respectivamente.

Tabela 10A - Resumo da análise de regressão dos dados da produtividade total (PT) e comercial de tubérculos (PC), kg ha^{-1} , e número de tubérculos (NT), índice SPAD, ângulo hue ($^{\circ}\text{h}$), cromaticidade (C), luminosidade (L), teores de nitrato (TN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (TN-Norg) e nitrogênio total (TN-Ntotal), conteúdos de nitrato (CN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (CN-Norg) e nitrogênio total (CN-Ntotal), teores extraível de clorofila a (CHLa), b (CHLb,) total (CHLtotal) e a/b (CHLa/b) e índices de flavonóis (IFLV), de clorofila (ICHL) e balanceado de nitrogênio (IBN) em função de doses de N aos 21 dias após a emergência na safra “das águas”.

Característica	GL	Quadrados médios
PT	2	135,8778**
PC	2	136,1027**
NT	2	16,86788*
SPAD	1	64,73505**
$^{\circ}\text{h}$	2	4,301170*
C	1	35,31239**
L	1	16,20569*
TN- NO_3^-	1	1,903145**
TN-Norg	1	240,8334**
TN-Ntotal	1	285,5543**
CN- NO_3^-	1	0,9152348**
CN-Norg	1	342,6044**
CN-Ntotal	1	378,9350**
CHLa	2	68,31495 $^{\circ}$
CHLb	1	527,8067*
CHLtotal	2	660,4293**
CHLa/b	2	0,265713*
ICHL	1	65,87311**
IFLV	1	0,614603**
IBN	1	25,39109**

** , * e ° : Significativos a 1, 5 e 10 % para teste F, respectivamente.

Tabela 11A - Resumo da análise de regressão dos dados da produtividade total (PT) e comercial de tubérculos (PC), kg ha^{-1} , e número de tubérculos (NT), índice SPAD, ângulo hue ($^{\circ}\text{h}$), cromaticidade (C), luminosidade (L), teores de nitrato (TN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (TN-Norg) e nitrogênio total (TN-Ntotal), conteúdos de nitrato (CN- NO_3^-), nitrogênio orgânico (CN-Norg) e nitrogênio total (CN-Ntotal), teores extraível de clorofila a (CHLa), b (CHLb,) total (CHLtotal) e a/b (CHLa/b) e índices de flavonóis (IFLV), de clorofila (ICHL) e balanceado de nitrogênio (IBN) em função de doses de N aos 42 dias após a emergência na safra “de inverno”.

Característica	GL	Quadrados médios
SPAD	1	70,94504**
$^{\circ}\text{h}$	2	7,48543**
C	2	70,66552**
L	1	13,25448**
TN- NO_3^-	1	1,22541
TN-Norg	1	107,6547
TN-Ntotal	1	131,8515**
CN- NO_3^-	1	0,88557**
CN-Norg	1	504,5534**
CN-Ntotal	1	547,7152**
CHLa	2	534,3734*
CHLb	1	424,8906**
CHLtotal	1	2582,012**
CHLa/b	1	0,366313*
IFLV	-	-
ICHL	-	-
IBN	-	-

** , * e ° : Significativos a 1, 5 e 10 % para teste F, respectivamente.

Tabela 12A - Resumo da análise de regressão dos dados da produtividade total (PT) e comercial de tubérculos (PC), kg ha^{-1} , e número de tubérculos (NT), índice SPAD, ângulo hue ($^{\circ}\text{h}$), cromaticidade (C), luminosidade (L), teores de nitrato (TN-NO_3^-), nitrogênio orgânico (TN-Norg) e nitrogênio total (TN-Ntotal), conteúdos de nitrato (CN-NO_3^-), nitrogênio orgânico (CN-Norg) e nitrogênio total (CN-Ntotal), teores extraível de clorofila a (CHLa), b (CHLb,) total (CHLtotal) e a/b (CHLa/b) e índices de flavonóis (IFLV), de clorofila (ICHL) e balanceado de nitrogênio (IBN) em função de doses de N aos 42 dias após a emergência na safra “das águas”.

Característica	GL	Quadrados médios
SPAD	1	71,61698**
$^{\circ}\text{h}$	2	8,365275*
C	2	16,80057 $^{\circ}$
L	2	7,084006*
TN-NO_3^-	1	1,911423**
TN-Norg	1	110,1991**
TN-Ntotal	1	141,1372**
CN-NO_3^-	1	0,67562**
CN-Norg	1	92,33134**
CN-Ntotal	1	108,8033**
CHLa	2	261,8900**
CHLb	1	664,9321**
CHLtotal	2	1185,189*
CHLa/b	2	0,586134**
IFLV	1	1,46912**
ICHL	1	47,1675**
IBN	1	83,96029**

** , * e $^{\circ}$: Significativos a 1, 5 e 10 % para teste F, respectivamente.

APÊNDICE B

Tabela 1B - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados da produtividade comercial de tubérculos ($t\ ha^{-1}$), eficiência de recuperação do nitrogênio (ERN), índice de colheita (IC), total de nitrogênio absorvida pela planta (TNAP), eficiência do uso do nitrogênio (EUSN) e teor de matéria seca de tubérculos (TMS) em função de doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e em cobertura na safras “de inverno”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)					
		Protuvidade comercial	ERN	IC	TNAP	EUSN	TMS
Dose	9	423,82530**	767,9000**	0,001405 ^{ns}	5110,584**	59883,58**	1,50919 ^{ns}
Bloco	3	66,40620 ^{ns}	35,38906 ^{ns}	0,000472 ^{ns}	125,7816 ^{ns}	1296,143 ^{ns}	0,36851 ^{ns}
Resíduo	27	30,33686**	82,20916	0,000844	306,1175	949,2604	1,26297
Média geral		34,3	30,6	0,87	98,2	73,6	16,2
CV (%)		15,8	29,6	3,4	17,8	41,9	6,9

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 2B - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados da produtividade comercial de tubérculos ($t\ ha^{-1}$), eficiência de recuperação do nitrogênio (ERN), índice de colheita (IC), total de nitrogênio absorvida pela planta (TNAP), eficiência do uso do nitrogênio (EUSN) e teor de matéria seca de tubérculos (TMS) em função de doses de nitrogênio aplicadas em pré-plantio e em cobertura na safras “das águas”.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (significâncias)					
		Protuvidade comercial	ERN	IC	TNAP	EUSN	TMS
Dose	9	211,6346**	513,3427**	0,00964 ^{ns}	5319,486**	7716,862**	1,21071 ^{ns}
Bloco	3	54,0699**	123,5784 ^{ns}	0,01768**	931,5118 ^{ns}	273,6671 ^{ns}	0,07620 ^{ns}
Resíduo	27	10,4964	64,5714	0,00348	329,2571	135,2478	0,91977
Média geral		22,8	26,3	0,72	82,9	32,5	13,4
CV (%)		14,2	30,6	8,2	21,9	35,8	7,2

** , * e ^{ns}: Significativos a 1 e 5 % para teste F, respectivamente, e não-significativo para teste F.

Tabela 3B - Resumo da análise de variância (ANAVA) do contraste dos dados da produção total e comercial de tubérculos de batata ($t\ ha^{-1}$), índice de produção comercial de tubérculos (IPC) e número de tubérculos em função, em função da combinação de doses de N aplicadas em pré-plantio e em cobertura, na safra “de inverno”.

Contraste ¹	GL	Quadrados médios (significâncias)			
		Produção comercial	Produção total	IPC	Número de tubérculos
T1 vs T2	1	302,1428*	334,6572**	66,0012 ^{ns}	14,2222 ^{ns}
T3 vs T4	1	305,5392°	269,6358°	86,0874 ^{ns}	0,0555 ^{ns}
T5 vs T6	1	535,5901**	515,1337**	59,9937°	0,3472 ^{ns}
T7 vs T8	1	55,1017 ^{ns}	37,7098 ^{ns}	14,0439 ^{ns}	4,0138 ^{ns}
T9 vs T10	1	35,5793 ^{ns}	41,9121 ^{ns}	0,02407 ^{ns}	3,1250°

** , * , ° e ^{ns} : Significativos a 1, 5 e 10 % para teste F, respectivamente, e não significativo para teste F. ¹ T1 = 0 + 0; T2 = 0 + 275; T3 = 50 + 0; T4 = 50 + 210; T5 = 100 + 0; T6 = 100 + 155; T7 = 200 + 0; T8 = 200 + 60; T9 = 300 + 0 e T10 = 300 + 60 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 4B - Resumo da análise de variância (ANAVA) do contraste dos dados da produção total e comercial de tubérculos de batata ($t\ ha^{-1}$), índice de produção comercial de tubérculos (IPC) e número de tubérculos em função, em função da combinação de doses de N aplicadas em pré-plantio e em cobertura, na safra “das águas”.

Contraste ¹	GL	Quadrados médios (significâncias)			
		Produção comercial	Produção total	IPC	Número de tubérculos
T1 vs T2	1	499,0694**	608,3072**	285,8730 ^{ns}	56,4453*
T3 vs T4	1	159,2518°	311,6672*	65,4519 ^{ns}	39,3828 ^{ns}
T5 vs T6	1	88,5337*	141,3441°	2,0419 ^{ns}	15,1250 ^{ns}
T7 vs T8	1	58,5722 ^{ns}	83,6787 ^{ns}	5,8949 ^{ns}	4,8828 ^{ns}
T9 vs T10	1	8,3913 ^{ns}	36,0118 ^{ns}	59,6409 ^{ns}	3,4453 ^{ns}

** , * , ° e ^{ns} : Significativos a 1, 5 e 10 % para teste F, respectivamente, e não significativo para teste F. ¹ T1 = 0 + 0; T2 = 0 + 318; T3 = 50 + 0; T4 = 50 + 265; T5 = 100 + 0; T6 = 100 + 182; T7 = 200 + 0; T8 = 200 + 60; T9 = 300 + 0 e T10 = 300 + 60 kg ha⁻¹ de N.