Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Nutrição e rendimento da macieira em resposta às adubações
nitrogenada e potássica e ao déficit hídrico**

Gilberto Nava

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

Piracicaba
2007

Gilberto Nava
Engenheiro Agrônomo

**Nutrição e rendimento da macieira em resposta às adubações
nitrogenada e potássica e ao déficit hídrico**

Orientador:
Prof. Dr. **ANTONIO ROQUE DECHEN**

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

**Piracicaba
2007**

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

Nava, Gilberto

Nutrição e rendimento da macieira em respostas às adubações nitrogenada e potássica e ao déficit hídrico / Gilberto Nava. - - Piracicaba, 2007.
113 p. : il.

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

1. Adubação 2. Água – Deficiência 3. Crescimento vegetal 4. Fertilizantes nitrogenados 5. Fertilizantes potássicos 5. Maça 6. Nutrição vegetal
7. Produtividade I. Título

CDD 634.11

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

A **Deus**, por sempre estar ao meu lado, protegendo-me e iluminando os meus caminhos.

A minha mãe, Neizinha da Soler Nava (in memorian), por proteger-me e torcer por mim, mesmo que eu nem percebesse.

Ao meu pai, José Nava, pelo seu exemplo de trabalho e dedicação.

AGRADEÇO

À toda a minha família.

OFEREÇO

À minha esposa Ivanir, pelo carinho, compreensão, sorriso contagiante, e por acatar nossos planos com muita bravura.

Às minhas filhas, Daniela e Gabriela, pela meiguice, sorriso encorajador e estímulo para superação de todas as dificuldades encontradas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Ao meu pai, José Nava e minha mãe, Neizinha da Soler Nava (in memorian), pelo exemplo de luta e vontade de vencer.

Ao amigo, conselheiro e professor Dr. Antonio Roque Dechen pela orientação, aprendizagem, companheirismo e incentivo durante todas as fases do curso.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo e, em especial aos professores Dr. Francisco Antonio Monteiro e Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello.

Aos meus irmãos e, em especial, ao Itamar Cristiano Nava, pelo estímulo, conselhos e exemplo de dedicação.

Aos familiares de minha esposa, em especial, seus pais, Aristiliano de Oliveira e Sinozina Neves de Oliveira, pelo amor e por torcerem por nós.

Aos amigos e colegas de pós-graduação Adriana Guirado Artur, Cristiane Prezotto Silveira, Daniel Manfredini, Daniela Alves de Oliveira, Dylnei Consolmagno Neto, Edna Maria Bonfim da Silva, Fabiano Daniel De Bona, Gilmar Ribeiro Nachtigall, Haroldo Cornellis Hoogerheide, Jackson Locks Lange, José Olímpio de Souza Júnior, Karina Batista, Magnus Dall'Igna Deon, Lílian Pittol Firme, Simeire Aparecida Manarin, Suzana Pereira de Melo, Hector Coraspe, Dilmar Barreta, Carolina Rivera Duarte Maluche, Adilson de Oliveira Junior, Gean Carlos Silva Martins, João Nunes de Carvalho, pela amizade e companheirismo.

A todos os funcionários do departamento de Solos e Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP e, em especial, à Sueli Maria Amaral Campos, pela convivência e amizade nesse período.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas que me fez crescer profissionalmente e como ser humano.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), pela oportunidade e apoio financeiro concedido para a realização do curso.

Aos colegas da Estação Experimental de São Joaquim e, em especial, ao Miguel de Rocco, pelo auxílio na execução do trabalho experimental de campo.

Ao amigo Jackson Locks Lange, pela ajuda na elaboração do projeto de pesquisa enviado para o IICA-Canada.

Ao Inter-America Institute for Cooperation on Agriculture – IICA Canada, pela bolsa de estudo concedida, que tornou possível a realização de parte do meu curso de doutorado naquele país.

Ao Pacific Agri-Food Research Centre – Canada e, em especial ao seu pesquisador Dr. Gerry H. Neilsen e ao Shawn Kuchta, pela orientação nos trabalhos de pesquisa conduzidos nessa instituição.

Ao Diolindo Matos, José Reis, Maria Helena Reis e a toda família O' Gorman, pela singela acolhida no Canadá e amizade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 A cultura da macieira no Brasil.....	13
1.2 O nitrogênio no solo.....	13
1.3 O potássio no solo.....	15
1.4 O nitrogênio nas plantas em geral.....	16
1.5 O potássio nas plantas em geral.....	17
1.6 O nitrogênio na cultura da macieira.....	18
1.7 O potássio na cultura da macieira.....	21
1.8 Manejo do solo e da macieira em situações de déficit hídrico.....	22
Referências.....	24
2 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA NO RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DOS FRUTOS DA MACIEIRA 'FUJI'.....	29
Resumo.....	29
Abstract.....	29
2.1 Introdução.....	30
2.2 Material e Métodos.....	31
2.3 Resultados e Discussão.....	33
2.3.1 Rendimento da macieira em resposta à adição de nitrogênio.....	33
2.3.2 Rendimento da macieira em resposta à adição de potássio.....	36
2.3.3 Tamanho dos frutos em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	39
2.3.4 Composição mineral de frutos em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	41
2.4 Conclusões.....	46
Referências.....	47
3 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA SOBRE A QUALIDADE DOS FRUTOS DA MACIEIRA 'FUJI'.....	50

Resumo.....	50
Abstract.....	50
3.1 Introdução.....	51
3.2 Material e Métodos.....	52
3.3 Resultados e Discussão.....	53
3.4 Conclusões.....	62
Referências.....	63
4 COMPOSIÇÃO MINERAL DAS FOLHAS E CRESCIMENTO DA MACIEIRA 'FUJI' EM RESPOSTA A NITROGÊNIO E POTÁSSIO.....	65
Resumo.....	65
Abstract.....	65
4.1 Introdução.....	66
4.2 Material e Métodos.....	68
4.3 Resultados e Discussão.....	70
4.3.1 Concentrações de N nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	70
4.3.2 Concentrações de K nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	72
4.3.3 Concentrações de P nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	74
4.3.4 Concentrações de Ca nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	75
4.3.5 Concentrações de Mg nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	77
4.3.6 Concentrações de micronutrientes nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	79
4.3.7 Correlações entre as concentrações de macronutrientes em duas épocas de amostragens.....	81
4.3.8 Crescimento da macieira em resposta à adição de nitrogênio e potássio.....	84
4.3.8.1 Perímetro do tronco.....	84
4.3.8.2 Comprimento dos ramos do ano.....	85

4.4 Conclusões.....	87
Referências.....	88
5 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE PAPEL NA SUPERFÍCIE DO SOLO E DA QUANTIDADE DE FRUTOS NA PLANTA EM ATENUAR O DÉFICIT HÍDRICO DA MACIEIRA.....	92
Resumo.....	92
Abstract.....	92
5.1 Introdução.....	93
5.2 Material e Métodos.....	95
5.3 Resultados e Discussão.....	98
5.3.1 Condutância estomática.....	98
5.3.2 Tamanho e produção de frutos.....	102
5.3.3 Concentrações dos nutrientes nos frutos.....	105
5.3.4 Concentrações dos nutrientes nas folhas.....	107
5.4 Conclusões.....	109
Referências.....	110
Considerações Finais.....	113

RESUMO

Nutrição e rendimento da macieira em resposta às adubações nitrogenada e potássica e ao déficit hídrico

No presente trabalho objetivou-se, em um dos experimentos, avaliar o efeito das adubações nitrogenada e potássica sobre: a) o rendimento e composição mineral de maçãs; b) alguns atributos qualitativos de maçãs; c) a composição mineral das folhas e o crescimento da macieira (*Malus domestica* Borkh) e, noutro, avaliar a influência da aplicação de resíduo de papel na superfície do solo e da carga de frutos em atenuar os efeitos do déficit hídrico da macieira. O primeiro experimento foi conduzido durante os anos de 1998 a 2006, em São Joaquim-SC, Brasil, utilizando-se o cultivar 'Fuji'. Os tratamentos consistiram das combinações de quatro doses de N e K (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e K₂O), aplicadas anualmente ao solo. O segundo experimento foi realizado em 2006, no município de Summerland-BC, Canadá, envolvendo a combinação do déficit hídrico em três períodos (50 a 90, 80 a 110 e 110 a 150 DAPF) do ciclo da macieira 'Golden Delicious', aplicação de resíduo de papel na superfície do solo (com e sem) e ajuste da quantidade de frutos (100% e 50%). O rendimento foi aumentado em cinco e em quatro dos oito anos avaliados pela adubação nitrogenada e potássica, respectivamente. O tamanho dos frutos foi mais influenciado pela adubação potássica que pela nitrogenada. As adições de N e K afetaram a composição mineral dos frutos, incrementando suas concentrações e as relações N:Ca e K:Ca. A adubação nitrogenada afetou negativamente a coloração, firmeza da polpa e teor de sólidos solúveis totais dos frutos. Essas mesmas variáveis foram afetadas positivamente pela adubação potássica, exceto para a firmeza da polpa. As concentrações dos macronutrientes nas folhas foram alteradas, principalmente pela adubação nitrogenada, que promoveu o incremento das concentrações de N, Ca e Mg e a redução das concentrações de K e P. A adubação potássica aumentou a concentração foliar de K e reduziu a de Mg. O crescimento da macieira foi afetado pelo N, o qual aumentou o perímetro do tronco e o comprimento dos ramos do ano. A análise química realizada em novembro mostrou-se útil na estimativa dos teores foliares dos macronutrientes atingidos em janeiro/fevereiro. As plantas submetidas ao déficit hídrico nos períodos de 50 a 90 e 80 a 110 DAPF tiveram a condutância estomática reduzida, porém, essa variável não foi alterada pela quantidade de frutos. A aplicação de resíduos de papel na superfície do solo atenuou a redução da condutância estomática provocada pelo déficit hídrico. A menor quantidade de frutos refletiu em maior massa média dos frutos, porém, em menor rendimento. A produção e a massa média de frutos foram maiores na presença do resíduo de papel na superfície do solo se comparadas à ausência do mesmo. As concentrações dos nutrientes nos frutos variaram em resposta aos períodos de déficit hídrico e, em geral, foram maiores quando a carga de fruto era menor. As concentrações de K, P e B também foram aumentadas pelo uso de resíduo de papel na superfície do solo, tanto nas folhas como nos frutos.

Palavras-chave: *Mallus domestica* Borkh; Nitrogênio; Potássio; Rendimento; Crescimento; Composição mineral; Déficit hídrico

ABSTRACT

Nutrition and yield of apple trees in response to nitrogen and potassium fertilizations and water deficit

The objectives of this work were to evaluate, in one experiment, the effect of nitrogen and potassium fertilization on: a) yield and mineral composition of apples; b) some apples qualitative characteristics; c) mineral composition of leaves and growth parameters of apple trees (*Malus domestica* Borkh) and, in another one, the influence of paper mulch and fruit crop load in reducing the water deficit effects in apple trees. The first experiment was carried out from 1998 to 2006, in São Joaquim/SC, Brazil, using the 'Fuji' cultivar. The treatments were represented by the combination of four N and K annual fertilizer rates (0, 50, 100 and 200 kg ha⁻¹ of N and K₂O). The second experiment was accomplished in 2006, in Summerland-BC, Canada, analyzing the water deficit in three periods of the 'Golden Delicious' apple cycle (50 to 90, 80 to 110 and 110 to 150 DAFB), paper mulch (with and without) and fruit crop load adjustment (100% and 50%). The yield was increased in five and four of the analyzed years, by nitrogen and potassium fertilization, respectively. Fruit size was more influenced by potassium than nitrogen fertilization. N and K supply affected fruit mineral composition, increasing their concentrations and N:Ca and K:Ca ratios, whereas nitrogen fertilization decreased the Ca, Mg and P concentration in the fruits. Nitrogen fertilization negatively affected the parameters of fruit color, flesh firmness and soluble solids contents. These variables were positively affected by potassium fertilization, except flesh firmness. The macronutrients concentration in leaves were altered, specially by nitrogen fertilization, which promoted the increasing of N, Ca and Mg concentrations and the reducing of K and P concentrations. The potassium fertilization increased K and decreased Mg concentration in leaves. Trunk girth and new year shoot length were increased by N fertilization. Chemical analysis done in November was useful in predicting the macronutrients contents in leaves reached in January/February. Plants submitted to water deficit from 50 to 90 and 80 to 110 DAFB showed reduced stomatal conductance but this variable was not affected by fruit crop load. The paper mulch alleviated the decreasing in stomatal conductance caused by water deficit. The lowest fruit crop load caused highest average fruit mass, but lowest yield. The production and average fruit mass were higher when mulch was used, if compared with its absence. Fruit nutrient concentrations ranged in response to the water deficit periods and were generally higher when fruit crop load was lower. Both, leaf and fruit K, P and B concentrations were increased by mulch paper. Fruit crop load was the factor that less affected the nutrients concentrations in leaves.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; Nitrogen; Potassium; Fertilization; Yield; Growth; Mineral composition; Water deficit

1 INTRODUÇÃO

No Brasil são poucas as regiões propícias ao cultivo da macieira, sendo que os Estados do Sul são os principais produtores de maçã do país. Os Estados de São Paulo e Minas Gerais também produzem, porém, participam com menos de 1% do total da produção nacional. O clima é o principal fator que limita o cultivo da macieira, uma vez que a cultura é bastante exigente em baixas temperaturas, adaptando-se melhor em climas temperados.

Aproximadamente 52% da área total cultivada com maçãs no Brasil está situada em Santa Catarina e 42% no Rio Grande do Sul. Em Santa Catarina, a produção concentra-se na região do Alto Vale do Rio do Peixe, principalmente no município de Fraiburgo e, na região do Planalto Sul, principalmente no município de São Joaquim. No Rio Grande do Sul, o município de Vacaria contempla a maior área de produção desse Estado.

A partir do início da década de setenta, inúmeros avanços foram obtidos nas diversas áreas de estudo, o que aliado à expansão dos plantios, resultaram em aumentos significativos na produção e qualidade das maçãs. O Brasil, nos últimos quarenta anos passou de uma condição de total importador para uma condição de auto-suficiência e de exportador de maçãs.

Os avanços obtidos na nutrição da macieira, a exemplo das demais áreas, foram significativos, porém, as pesquisas concentraram-se nas regiões de Fraiburgo e Vacaria. Na região de São Joaquim, os trabalhos com nutrição de frutíferas ainda são incipientes e não existem parâmetros ajustados para recomendação de adubação, sendo esta prática realizada a partir da interpretação de resultados de pesquisa obtidos em outras regiões do Brasil e do mundo.

Além do clima, as características dos solos são diferentes entre os locais de produção. Enquanto na zona de produção de Fraiburgo e Vacaria os solos são profundos, na região de São Joaquim predominam as ordens dos Cambissolos e Neossolos, com grande proporção de solos pouco profundos, pedregosos e com freqüentes afloramentos de rocha. Isso indica que nessas condições, adubações

baseadas no mesmo critério que das anteriores, podem trazer resultados insatisfatórios, em termos de equilíbrio nutricional.

O nitrogênio (N) e o potássio (K) são os nutrientes mais extraídos pela macieira e a cultura necessita de um suprimento balanceado destes nutrientes para garantir o equilíbrio nutricional da planta, a produtividade e a qualidade dos frutos. A deficiência de N resulta em plantas com baixo vigor vegetativo e baixo potencial produtivo. O déficit de K, além de reduzir o rendimento, origina frutos de menor diâmetro e coloração. Entretanto, o excesso de ambos os nutrientes, pode promover o desequilíbrio nutricional, principalmente relacionado ao efeito negativo que exercem sobre a absorção e alocação do cálcio na planta.

Em termos ambientais, a adubação nitrogenada pode trazer prejuízos ao ambiente, uma vez que grande porção dos fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas são lixiviados para as águas subterrâneas ou volatilizados para a atmosfera. Por isso, o uso eficiente dos adubos nitrogenados é de fundamental importância para atenuar as mudanças climáticas que vêm ocorrendo.

A eficiência agronômica dos fertilizantes e a resposta das culturas às adubações dependem de diversos fatores de solo, clima e práticas de manejo cultural. A ocorrência de déficits hídricos tem sido freqüente em diversas regiões produtoras de maçã no mundo e, nas últimas safras, também no Sul do Brasil. Apesar disso, inexistem trabalhos que visem avaliar o efeito do déficit hídrico em macieira para as condições brasileiras.

Com a proposta de abordar os assuntos anteriores propôs-se o presente trabalho, subdividido em quatro capítulos, com os seguintes objetivos: a) estudar os efeitos das adubações nitrogenada e potássica sobre o rendimento e a composição mineral dos frutos da macieira; b) avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica sobre a qualidade dos frutos da macieira; c) avaliar o efeito das adubações nitrogenada e potássica sobre a composição mineral das folhas e o crescimento da macieira, bem como, avaliar a relação entre a concentração foliar dos nutrientes em duas épocas de amostragem; d) avaliar a influência do déficit hídrico sobre o equilíbrio nutricional e rendimento da macieira e avaliar os efeitos do uso de resíduo de papel na superfície do solo e da quantidade de frutos sobre o balanço hídrico da macieira.

1.1 A cultura da macieira no Brasil

Os pomares de macieira no Brasil concentram-se basicamente na região Sul, principalmente nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, os quais juntos respondem por aproximadamente 94% da área total de plantio (IBGE, 2007). A limitação para o cultivo da macieira em outras regiões do país é climática, uma vez que a cultura é muito exigente em frio (PETRI; PALLADINI; POLA, 2002).

Os primeiros pomares de macieira no Brasil surgiram na região de Fraiburgo, SC, no ano de 1965 com mudas de diversas variedades importadas. Face aos resultados promissores de algumas variedades e com o início da produção de mudas nacionais, em 1969 houve um incremento significativo na implantação de pomares. Fator fundamental para esse acréscimo foi o enquadramento da cultura como beneficiária da política de reflorestamento, com incentivos fiscais do governo federal, que motivou grupos empresariais a formarem grandes plantações (BONETI et al., 1999).

Em 1975, segundo a FAO, o Brasil era o quarto maior importador mundial de maçã, absorvendo 6,8% da quantidade total exportada, num total de 81,13 milhões de dólares. Naquele mesmo ano foram colhidas no país cerca de 5.000 toneladas, praticamente, todas provenientes no estado de Santa Catarina. Na safra 2004/05, a produção nacional atingiu 850 mil toneladas (IBGE, 2007), alterando a condição do Brasil de total importador, para de exportador, e com boas perspectivas de ampliação do volume de negócios.

O Estado de Santa Catarina é o maior produtor nacional e responde por cerca de 60% da produção nacional (IBGE, 2007). A produção de maçãs está concentrada na região do Alto Vale do Rio do Peixe, principalmente no município de Fraiburgo, e no Planalto Sul, tendo como município pólo São Joaquim (BONETI et al., 1999). A última região, por ser a mais fria, é tida como preferencial para o cultivo da macieira.

1.2 O nitrogênio no solo

O N é o elemento que mais frequentemente causa deficiência em sistemas de cultivo de não leguminosas. O entendimento da química e da biologia do N é essencial

para maximizar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto negativo das entradas de N no ambiente (HAVLIN et al., 2005).

O ar atmosférico contém 78% de N_2 . Entretanto, as plantas superiores não conseguem metabolizar o N_2 diretamente em proteínas, o qual deve ser convertido, primeiramente, para N disponível por meio de: microorganismos que vivem em simbiose com as raízes de leguminosas; microorganismos do solo de vida-livre ou não simbióticos; descargas elétricas na atmosfera, formando óxidos de N; ou pela fabricação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (HAVLIN et al., 2005).

O teor de N total na camada superficial de solos cultivados é usualmente alto, podendo variar entre 0,6 a 5,0 g dm^{-3} (BREMNER, 1996). No entanto, aproximadamente 95% do N total das camadas superficiais do solo encontra-se na forma orgânica. O N orgânico deve ser transformado em formas inorgânicas para que possa posteriormente ser absorvido pelas plantas, o que se dá por meio do processo de mineralização.

O processo de transformação de N orgânico em N mineral é mediado pelos microrganismos, sendo afetado por fatores do solo como aeração, temperatura, umidade, acidez, nutrientes, relação C/N dos materiais vegetais (VICTORIA; PICCOLO; NEVES, 1992). Quando da ausência de resposta das culturas à adubação nitrogenada, o N residual e aquele liberado na decomposição da matéria orgânica do solo, provavelmente, são suficientes para atender a demanda (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Segundo Ernani, Dias e Vanz (1997), nos sistemas de cultivo de macieira no Brasil, o alto teor de matéria orgânica dos solos, aliado às condições que favorecem o processo de mineralização, em geral, disponibilizam quantidades suficientes de N para atender as demandas da cultura. Isso evidencia uma menor necessidade da macieira ao N quando comparada aos sistemas de cultivo de culturas anuais, que frequentemente requerem N suplementar.

As plantas absorvem N na forma de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+). Em solos úmidos e bem aerados, a concentração de NO_3^- na solução do solo é geralmente maior que de NH_4^+ (HAVLIN et al., 2005). Ambos, amônio e NO_3^- são movidos até as raízes das plantas por fluxo de massa ou difusão. Devido à alta concentração de N na solução dos solos agrícolas, o fluxo de massa é o mecanismo dominante.

A taxa de absorção de NO_3^- é usualmente alta, o que causa um aumento no pH da rizosfera. Quando as plantas absorvem altas quantidades de nitrato ocorre um aumento no transporte de ânions para fora da célula e, conseqüentemente, há aumento na absorção de cátions (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A absorção de NH_4^+ ocorre principalmente em solos com valores neutros de pH, sendo diminuída com o aumento da acidez. Ao contrário do NO_3^- , a absorção de NH_4^+ causa a redução no pH da rizosfera, podendo afetar a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica nas proximidades das raízes.

1.3 O potássio no solo

O K do solo é usualmente distinguido nas formas: K na solução do solo, extraído com água; K trocável, extraído com NH_4OAc , $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ (mehlich 1) ou resina, que se refere ao elemento fracamente retido na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo; K não- trocável, extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} a quente, que corresponde àquele retido na estrutura de minerais (K estrutural), tais como os feldspatos potássicos e as micas, bem como o K fixado nas entrecamadas de argilominerais expansivos como a vermiculita e a esmectita; e K total, extraído com HF (RAIJ, 1991).

Existe certo equilíbrio entre essas formas de K no solo. As plantas absorvem este nutriente da solução, o qual é tamponado pelas formas trocáveis, que são repostas pelas formas não trocáveis e estruturais (CURI; KÄMPF; MARQUES, 2005). As formas não-trocáveis e estruturais de K são usualmente consideradas reservas de médio e longo prazo para as plantas (MELO et al., 2003).

Sob o ponto de vista da nutrição da planta, o equilíbrio mais importante é entre o K trocável e o K na solução, que são fontes imediatas de K para as plantas (MIELNICKZUK, 1982). Segundo o autor, com a exaustão dessas formas, o K não-trocável, que representa a reserva de longo prazo, é lentamente liberado para o solo, podendo então ser absorvido pelas plantas, retido na CTC, fixado, erodido, lixiviado, biociclado, o que deve ser levado em consideração no programa de adubação de culturas perenes.

Os solos brasileiros, em geral, são bastante intemperizados e lixiviados. Nessas condições, na fração argila há o predomínio de minerais do tipo 1:1 como a

caulinita e de óxido-hidróxidos de Fe e Al como a goetita, hematita e gibbsita. A existência nas frações mais grosseiras (areia e silte) de minerais do tipo 2:1 é baixa e, por isso, as reservas de K não-trocável tendem a ser diminutas, caracterizando ambientes nos quais são baixas as reservas de médio e longo prazo (MIELNICKZUK; 1978).

No entanto, verifica-se em diversas situações, que a quantidade de K extraída pelas plantas, com freqüência, é superior às formas trocáveis, pelo que as formas de K não-trocável contribuem significativamente para o total de K absorvido pelas plantas (MEURER; ANGHINONI, 1993; SILVA, 1996).

Ernani, Dias e Flore (2002) observaram em sete anos de adição anual de K para a cultura da macieira, que nas parcelas que não haviam recebido K, o teor de K trocável do solo diminuiu de 140 mg kg^{-1} no primeiro ano para 40 mg kg^{-1} no quinto ano e que após isso, os teores permaneceram constantes. O autor atribuiu os resultados ao efeito tamponante de formas não-trocáveis de K do solo, as quais liberaram K e com isso o teor de K trocável do solo permaneceu inalterado a partir do quinto ano de avaliação,

1.4 O nitrogênio nas plantas em geral

O N é o elemento mineral que as plantas exigem em maior quantidade. Ele serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucléicos e participa com quatro átomos na molécula da clorofila. Portanto, a deficiência de N rapidamente inibe o crescimento vegetativo (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O N é facilmente redistribuído na planta. Por isso, a deficiência de N, para a maioria das espécies, causa clorose, sobretudo nas folhas mais velhas, próximas à base da planta. Sob severa deficiência, essas folhas tornam-se completamente amarelas e caem da planta. Quando a deficiência de N desenvolve-se lentamente, é possível que as plantas tenham caules comumente delgados e lenhosos. Esse caráter lenhoso pode ser devido ao acúmulo dos carboidratos em excesso, que não podem ser usados na síntese de aminoácidos ou de outros compostos nitrogenados (TAIZ; ZEIGER; 2004).

A aquisição ou assimilação do N nítrico depende de uma permease específica para o NO_3^- , e das redutases de nitrato e nitrito, três proteínas induzidas pelo próprio nitrato que é reduzido a NH_4^+ . As plantas assimilam o NO_3^- e o NH_4^+ que elas absorvem em aminoácidos. As reações bioquímicas responsáveis pela assimilação de NH_4^+ e, particularmente, de NO_3^- são tão energeticamente intensas que esses processos determinam o balanço de energia ou de carbono de uma planta, bem como, sua provisão de N (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Mais de 90% do NO_3^- que chega à folha é reduzido a NH_4^+ e isso custa cerca de 20% da energia capturada na fotossíntese (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

1.5 O potássio nas plantas em geral

O potássio está presente nas plantas como o cátion K^+ e desempenha um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais. Ele também ativa várias enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A absorção do potássio é principalmente ativa, necessitando de gasto de energia que é suprida pelo trifosfato de adenosina (ATP). A absorção é conduzida por uma força próton motiva associada à extrusão de H^+ . O K é carregado tanto através da plasmalema como do tonoplasto por transportadores e canais hidrofílicos através da dupla camada hidrofílica (MALAVOLTA, 2005). A absorção de K contra uma alta concentração externa gera duas isothermas, ou mecanismo duplo de absorção, ambas obedecendo a cinética de Michelis-Menten. A primeira, que cobre a região de concentração mais baixa, corresponde a um mecanismo de alta afinidade enquanto a outra corresponde a um de afinidade mais baixa.

O transporte radial dentro das raízes ocorre pelas vias do apoplasto e do simplasto, até que a endoderme seja atingida, a partir de onde só ocorre a última (TAIZ; ZEIGER, 2004). Um processo ativo direciona a transferência de K das células adjacentes até os vasos do xilema por meio do transporte a longa distância pela corrente transpiratória. O movimento lateral, porém, direciona parte do K do xilema para o floema, onde o K é cátion dominante, o que também o carrega para cima (MALAVOLTA, 2005). Nem todos os cátions possuem essas duas vias para chegarem até a endoderme.

A redistribuição do K, que é o movimento de um local de residência na planta para outros órgãos de interesse, se dá principalmente via floema e é facilitada pela alta solubilidade em água desse nutriente. Os órgãos jovens, incluindo frutos, obtêm parte de suas necessidades mobilizando K das reservas de folhas, caules ramos e raízes. Por essa razão, os sintomas visuais de deficiência de K aparecem primeiramente nos ramos mais velhos e, dentro dos ramos, nas folhas mais velhas.

O primeiro sintoma visível da deficiência de K é a clorose em manchas ou marginal que evolui para necrose, principalmente, nos ápices foliares, nas margens e entre nervuras. Como o K pode ser facilmente remobilizado para as folhas mais jovens, esses sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais maduras da base da planta. Na macieira, é comum o aparecimento de deficiência de K nas folhas na fase de maior crescimento dos frutos, justamente quando sua remobilização é elevada.

1.6 O nitrogênio na cultura da macieira

No manejo da nutrição da macieira, deve-se conhecer o ciclo fisiológico das plantas, em particular, no que diz respeito ao N. Manru, Huairui e Hongwei (1990) observaram que há dois picos de acúmulo de N nas raízes da macieira: o primeiro ocorre na primavera e o segundo no outono, sendo que a habilidade de absorção e o teor de carboidratos das raízes são os fatores que definem as quantidades totais acumuladas.

No verão as raízes são ativas, porém, não crescem. Este comportamento fisiológico é muito importante, pois nesse período a planta transloca os nutrientes para os frutos e os brotos que estão em fase de crescimento (MARANGONI, 1999).

A macieira recicla o N assimilado através da mobilização do N das folhas para tecidos de reserva durante a senescência das folhas (TITUS; KANG, 1982; MANRU; HUAIUI; HONGWEI, 1990). O decréscimo rápido de N nas folhas inicia cerca de três a quatro semanas antes da abscisão das mesmas (OLAND, 1963a). As proteínas das folhas são hidrolisadas e os aminoácidos resultantes são translocados de volta aos órgãos de reserva da planta (MILLARD; THOMSON, 1989).

Aproximadamente, 30 a 50 % do N total da macieira está presente nas folhas no final do verão ou início do outono e cerca de 50 a 70% desse N pode ser

remobilizado para os órgãos de reserva (OLAND, 1963a). No início da brotação, as reservas N que estão nas raízes, nos órgãos lenhosos, nos ramos e no tronco são translocadas no interior da planta (MARANGONI, 1999), sendo essenciais ao crescimento inicial da primavera (O' KENNEDY, 1975a).

A maior demanda de N pelas macieira ocorre na primavera, durante a divisão celular, que acontece aproximadamente 45 dias após a plena floração. A aplicação de N nesse período estimula o desenvolvimento vegetativo e aumenta o tamanho dos frutos, porém, aplicações mais tardias podem diminuir a coloração vermelha dos frutos (DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000).

A quantidade de N a ser aplicada num pomar de macieira depende principalmente das condições edafo-climáticas, do teor e da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo. Ernani, Dias e Vanz (1997) relataram que, para as condições do Sul do Brasil, a atividade das plantas e dos microrganismos somente é paralisada por completo durante a fase mais fria do inverno, diferente de outras regiões de clima temperado no mundo, onde já é paralisada no início do outono. Por isso, as respostas ao N são menos evidentes ou não devem ocorrer para as condições brasileiras.

Devido ao N relacionar-se com o vigor, é importante ter-se um teor adequado desse nutriente nas plantas, que vise o equilíbrio entre o desenvolvimento das partes vegetativa e reprodutiva e, conseqüentemente, uma produção regular no decorrer dos anos (MARANGONI, 1999). Um adequado nível de N é fundamental para a frutificação efetiva, diferenciação de gemas (MANRU; HUAIRUI; HONGWEI, 1990), qualidade dos frutos, produtividade e crescimento das plantas (STILES, 1994; DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000). Plantas com deficiência de N podem demorar mais para iniciarem a frutificação (MANRU; HUAIRUI; HONGWEI, 1990). Considera-se que as macieiras estão bem supridas em N quando o teor foliar estiver entre 20 a 25 g kg⁻¹ (BASSO; SUZUKI, 2002).

A deficiência de N caracteriza-se pela redução do crescimento da planta e pela coloração verde-claro das folhas, as quais tendem a cair prematuramente. Os frutos normalmente são pequenos e amadurecem cedo e desenvolvem melhor a cor de fundo por ocasião da maturação (BASSO; SUZUKI, 2002).

Os solos da maioria das regiões do Sul do Brasil em que a macieira é cultivada suprem quantidades suficientes de N para as plantas (BASSO; SUZUKI, 1992; ERNANI, DIAS; BORGES, 2000). No entanto, devido à adubação nitrogenada constituir-se num dos itens de menor peso no custo de produção (FREIRE; ZANCAN; DITTMAR, 1999) e, por promover um grande impacto na coloração e no desenvolvimento das plantas (BASSO; SUZUKI, 1992; ERNANI, DIAS; BORGES, 2000), em diversas situações, as quantidades aplicadas excedem às necessitadas pelas plantas.

O excesso de N na planta induz o crescimento vegetativo demasiado, promovendo o sombreamento dos frutos (STILES, 1994), a redução na coloração vermelha (DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000; STILES, 1994) e, conseqüentemente, o valor comercial dos frutos. Ao estimular o vigor excessivo, o excesso de N tende a diminuir a formação de estruturas reprodutivas (BASSO; SUZUKI, 1992)

Várias desordens fisiológicas, incluindo 'bitter pit', 'cork spot' e 'lenticel blotch pit', entre outras, (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001) têm sido associadas ao excesso de N. Em geral, todas essas desordens estão relacionadas à deficiência de Ca nos frutos. O N, por induzir o crescimento da vegetação, aumenta a competição entre frutos e folhas pelo Ca. Uma vez que os frutos transpiram menos se comparados às folhas, eles concentram menos Ca. As desordens fisiológicas provocadas pela baixa concentração de Ca são responsáveis por grande parte das perdas que ocorrem durante o período de conservação e comercialização dos frutos (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001).

Diversas pesquisas foram realizadas no Sul do Brasil para avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre o rendimento da macieira (BASSO; SUZUKI, 1992; ERNANI; DIAS; VANZ, 1997; FREIRE; ZANCAN; DITTMAR, 1999; ERNANI; DIAS; BORGES, 2000). Trabalhos realizados no município de Vacaria-RS, com os cultivares 'Fuji' e 'Gala', num solo com 40 g dm^{-3} de matéria orgânica não mostraram resposta ao N quando o nutriente foi aplicado em pós-colheita (ERNANI; DIAS; VANZ, 1997) ou no início da estação de crescimento (ERNANI; DIAS, 1999). Comportamento semelhante foi observado por Basso e Suzuki (1992), com o cultivar 'Golden Delicious' cultivado num solo com 34 g dm^{-3} de matéria orgânica, na região de Fraiburgo, SC. Quando o N foi aplicado em diferentes estações de crescimento das plantas, também não foram

observadas diferenças significativas do rendimento da macieira (BASSO; SUZUKI, 1992; ERNANI; DIAS; BORGES, 2000).

1.7 O potássio na cultura da macieira

Na cultura da macieira, o K é o nutriente mais exportado e está estreitamente relacionado com a qualidade das maçãs. A produtividade dos pomares de macieira no Brasil tem sido crescente desde o início dos primeiros plantios, existindo tecnologia disponível para a obtenção de produções superiores a 50 t ha⁻¹. Por isso, torna-se necessário a realização de adubações, visando repor o K que é extraído pelas colheitas e manter os níveis adequados desse nutriente no solo.

A difusão é o principal mecanismo de suprimento de K às plantas (HAVLIN et al., 2005). Assim, a umidade do solo representa um importante fator para que o nutriente consiga chegar até a superfície das raízes e, posteriormente, ser absorvido pela planta (RAIJ, 1991). Por isso, é comum o aparecimento dos sintomas de deficiência em períodos de falta de água, mesmo havendo teores altos de K trocável no solo (NAVA, 2001). A baixa temperatura do solo também pode reduzir a absorção do nutriente (TROMP, 1980; ERNANI; DIAS; FLORE, 2002).

Na cultura da macieira, os sintomas de deficiência de K são facilmente identificados nas folhas, as quais ficam com as bordas necrosadas e enroladas (NAVA, 2001). Em casos severos ocorre definhamento da planta, o que afeta o desenvolvimento dos frutos. O rendimento nessas condições é baixo (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002). O início do aparecimento dos sintomas depende da severidade da deficiência, que é mais acentuada em anos secos e com maior quantidade de frutos por planta. Os frutos de plantas deficientes em K são de tamanho reduzido, pobres em coloração (DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000; NEILSEN et al., 2000; HUNSCHE; ERNANI; BRACKMANN, 2003) e ácidos (NEILSEN et al., 1998).

O excesso de frutos na planta também favorece o aparecimento dos sintomas da deficiência de K nas folhas, devido à intensa alocação do nutriente para os frutos (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002). É importante ter-se um equilíbrio de carga de frutos na planta no decorrer dos anos, pois o excesso de frutos num ano pode comprometer as

reservas do nutriente na planta e propiciar o aparecimento de deficiência em ciclos posteriores.

O excesso de K, por interferir negativamente na absorção do cálcio, também pode reduzir a qualidade do fruto e seu período de armazenamento (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001; KRIVOROT; LOIKO; YAROKHOVICK, 1996; DOLEGA; LINK, 1996). Quanto aos efeitos inibitórios do K sobre o Ca, Bramlage, Weis e Draken (1985) sugerem que esses nutrientes podem substituir-se um ao outro nos sítios de ligação da superfície da membrana celular, dependendo de suas concentrações relativas. O K, entretanto, não consegue formar as ligações cruzadas dos componentes da membrana. Assim, a substituição do Ca pelo K pode alterar a estrutura da membrana e seu comportamento físico e provocar, em consequência, o vazamento de solutos.

Entretanto, Ernani, Dias e Flore (2002), após sete anos de adições anuais de K ao solo cultivado com macieira, obtiveram teores maiores que 600 mg dm^{-3} de K trocável no solo, porém, não observaram grande variação na concentração de Ca nas maçãs. Hunsche, Ernani e Brackmann (2003) aplicaram adubações em quantidades de até 300 kg ha^{-1} por ano de K_2O , durante nove anos consecutivos e observaram que houve aumento na concentração de K nos frutos, porém, apesar do alto teor de K acumulado no solo, não houve diminuição da concentração de Ca e Mg nos frutos. No mesmo trabalho, o excesso de K não promoveu desordens fisiológicas nos frutos durante a armazenagem.

1.8 Manejo do solo e da macieira em situações de déficit hídrico

A eficiência agronômica dos fertilizantes e a resposta das culturas às adubações dependem de diversos fatores de solo, clima e práticas de manejo cultural. A ocorrência de déficits hídricos tem sido freqüente em diversas regiões produtoras de maçã no mundo. Nas últimas safras, a ocorrência de seca no Sul do Brasil foi responsável por perdas significativas da produção das culturas em geral. Apesar disso, inexistem trabalhos que visem avaliar o efeito do déficit hídrico no desenvolvimento da macieira para as condições brasileiras.

O uso de água na irrigação inferior às quantidades perdidas por evapotranspiração (irrigação deficiente) pode ser uma boa alternativa em termos de

redução de custos de irrigação, economia de água, redução da lixiviação e da contaminação por biocidas de águas subterrâneas, decréscimo do vigor da planta e, consequentemente, do custo de poda e da melhoria da qualidade de frutos (BEHOUNDAIN; MILLSS, 1997).

O menor tamanho dos frutos, particularmente quando o déficit hídrico ocorre durante a fase do rápido crescimento dos mesmos, constitui-se na principal desvantagem do uso da irrigação deficiente (MPELASOKA; BEHOUNDAIN; GREEN, 2001). Esse efeito pode ser contrabalançado pelo menor número de frutos na planta (NAOR et al., 1999) o que repercutiria em menor perda de água por transpiração (WUNSCHE; PALMER; GREER, 2000).

A cobertura do solo com resíduos orgânicos pode atenuar os efeitos da seca, por meio da redução da taxa de evaporação da água do solo. O uso de resíduo em cobertura, além de relacionar-se com a manutenção da umidade do solo (MERWIN; STILES; VANES, 1994), auxilia no controle de plantas daninhas, diminuindo a necessidade de herbicidas, aumenta a atividade biológica do solo (HARTLEY et al., 1996), o crescimento da planta e a concentração de nutrientes nas folhas (NEILSEN et al., 2003) e melhora as propriedades físicas e químicas do solo (NEILSEN et al., 2002).

Referências

- BASSO, C.; SUZUKI, A. Resposta da macieira Cv. Golden Delicious à adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p. 223-227, 1992.
- BASSO, C.; SUZUKI, A. Fertilidade do Solo e nutrição da macieira. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. p. 341-381.
- BEHOUNDAIN, M.H.; MILLSS, T.M. Deficit irrigation in deciduous orchards. **Horticultural Reviews**, New York, v.21, p.105-131, 1997.
- BONETTI, J.I DA S; CESA, J.D.; PETRI, L.J.; HENTDCHKE, R. **Cadeias produtivas do estado de santa Catarina: Maçã**. Florianópolis: Epagri, 1999. 94 p. (Epagri. Boletim Técnico, 105).
- BRAMLAGE, W.J.; WEIS, S.A.; DRAKEN, M. Predicting the occurrence of poststorage disorders of 'McIntosh' apples from preharvest mineral analysis. **Journal of American Society of Horticulture Science**, Alexandria, v.110, p.493-498, 1985.
- BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: BARTELS, J.M. **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: SSSA, 1996. chap. 37. p.1085-1121. (SSSA. Book Series, 5).
- CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do fosfato, 2005. p. 71-92.
- DAUGAARD, H.; GRAUSLUND J. Fruit colour and correlations with orchard factors and post-harvest characteristics im apple cv. Mutsu. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.74, p.283-287, 2000.
- DOLEGA, E.K.; LINK, H. Fruit quality in relation to fertigation of apple trees. **Acta Horticulturae**, Hague, v.466, p.109-114, 1996.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de M.E.T. Nunes. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. Soil nitrogen application in the spring did not increase apple yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.645-649, 1999.

ERNANI P.R.; DIAS, J.; BORGES, M. A aplicação de nitrogênio ao solo em diferentes estádios não afetou o rendimento de frutos de cultivares de macieira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p.223-227, 2000.

ERNANI P.R.; DIAS, J.; VANZ, L. Application of nitrogen to the soil after fruit harvest has not increased apple yield. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.19, p.33-37, 1997.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.33, p.1291-1304, 2002.

FAO. Statistics. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 15 jun. 2004.

FREIRE, C.J. S.; ZANCAN, C.; DITTMAR, E.A. Comportamento da macieira cv Gala/MM106 em função da adubação nitrogenada de primavera e de outono. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v.2, p.37-47, 1999.

HARTLEY, M.J.; REID, J.B.; RAHMAN, A.; SPRINGETT, J.A. Effect of organic mulches and a residual herbicide on soil bioactivity in apple orchard. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Wellington, v.24, p.183-190, 1996.

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

HUNSCHE, M.; BRACKMANN, A. ERNANI, P.R. Efeito da adubação potássica na qualidade pós-colheita de maçãs Fuji. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.489-496, 2003.

IBGE. Produção agrícola municipal. Banco de dados agregados do IBGE, sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 12 mar. 2007.

IUCHI, V. L.; NAVA, G.; IUCHI, T. **Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira**. Florianópolis: Epagri/Jica. 2001, 74p.

KRIVOROT, A.M.; LOIKO, R.E.; YAROKHOVICH, L.M. Dynamics of apple fruits mineral content and its influence on shelf life in Belarus. **Acta Horticulturae**, Hogue, v. 466, p.127-132, 1996.

MALAVOLTA, E. Potássio – absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do fosfato, 2005. p. 179-238.

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

MANRU, G.; HUAI RUI, S.; HONGWEI, Z. A study on nitrogen nutrition of apple trees. In: Diagnosis of nutritional status of deciduous fruit orchards. **Acta Horticulturae**, Hogue, v.274, p.179-185, 1990.

MARANGONI, B. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema de produção integrada de frutas (PIF). In: SEMINÁRIO SOBRE PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS DE CLIMA TEMPERADO NO BRASIL, 1999, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1999. p. 29-33.

MELO, V.F; CORREA, G.F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A.N.; LIMA, V.C. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.807-819, 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

MERWIN, L.A.; STILES, W.C.; VANES, H.M. Orchard ground cover management impact on soil physical properties. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, p.216-222, 1994.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.17. p.377-382, 1993.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1978. 79 p. (Boletim Técnico, 2).

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: experiências brasileiras. In: YAMADA, T. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do fosfato; Instituto Internacional da Potassa; Fundação IAPAR, 1982. p. 289-203.

MILLARD, P.; THOMSON, C.M. The effect of autumn senescence of leaves on the internal cycling of nitrogen for the spring growth of apple trees. **Journal of experimental Botany**, Oxford, v. 40, p. 1285-1289, 1989.

MPELASOKA, B.S; BEHOUNDAIN, M.H.; GREEN, S.R. Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and crop load. **Irrigation Science**, New York, v. 20, p.107-113, 2001.

NAOR A.; KLEIN, I.; HUPERT, H.; GRINBLAT, Y.; PERES, M.; KAUFMAN, A. Water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, p.189-193, 1999.

NAVA, G. Descrição dos desequilíbrios nutricionais da macieira. In: IUCHI, V. L.; NAVA, G.; IUCHI, T. **Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira**. Florianópolis: Epagri/Jica, 2001. p. 62-74.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; MEHERIUK, M.; NEILSEN, D. Development and correction of K-deficiency in drip irrigated apple. **Hortscience**, Alexandria, v.33, n.2, p.258-261, 1998.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; NEILSEN, D.; ZEBARTH, B.J. Drip-fertigation of apples trees affects root distribution and the development of K deficiency. **Canadian Journal of Soil Science**. Ottawa, v.80, p.353-361. 2000.

NEILSEN, G.H.; HOGUE, E.J.; FORGE, T.; NEILSEN, D. Surface application of mulches and biosolids affect orchard soil properties after 7 years. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.83, p.131-137, 2002.

NEILSEN, G.H.; HOGUE, E.J.; FORGE, T.; NEILSEN, D. Mulchs and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. **Hortscience**, Alexandria, v.38, p.41-45, 2003.

O'KENNEDY, B.T.; HENNERTY, M.J. TITTUS, J.S. Changes in the nitrogen reserves of apple shoots during the dormant season. **Journal of Horticultural Science**, London, v.50, p.321-329, 1975.

OLAND, K. Changes in the content of dry matter and major nutrient elements of apple foliage during senescence and abscission. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.20, p.682-694, 1963a.

PETRI, J. L.; PALLADINI, L.A.; POLA, A.C. Dormência e indução da brotação da macieira. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. p. 261-298.

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

SILVA, I.R. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.20. p.257-264, 1996.

STILES, W.C. Nitrogen management in the orchard. In: PETERSON, A.B.; STEVENS, R.G. (Ed.). **Tree fruit nutrition**. Yakima, WA: good Fruit Grower, 1994, p. 41-50.

TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de R.E. Santarem. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TITUS, J.S.; KANG, S.M. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. **Horticultural Reviews**, New York, v.4, p. 204-246, 1982.

TROMP, J. Mineral absorption and distribution in young apple trees under various environmental conditions. In: ATKINSON, D.; JACKSON, J.E.; SHARPLES, R.O.; WALLER, W.M. **Mineral nutrition of fruit trees**, Butterworths, Boston, MA, 1980. p. 173-182.

VICTORA, R.L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1992. 360 p.

WUNSCH, J.N.; PALMER, J.W.; GREER D.H. Effects of crop load on fruiting and gas exchange characteristics of "Braeburn"/M26 apple trees at full canopy. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.125, p.93-99, 2000.

2 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA NO RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL DOS FRUTOS DA MACIEIRA 'FUJI'

Resumo

O nitrogênio e o potássio são os nutrientes mais exportados pelas maçãs (*Malus domestica* Borkh) e por isso estão diretamente relacionados com a produtividade dos pomares. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica sobre o rendimento, tamanho e composição mineral de maçãs 'Fuji' sobre o porta-enxerto Marubakaido. O experimento foi conduzido nos anos de 1998 a 2006, no município de São Joaquim-SC, Brasil. Consistiu de um fatorial com doses de N e K aplicadas anualmente ao solo (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e de K₂O) e repetidas em três pomares comerciais. O rendimento foi estimado a partir da contagem do número total de frutos por planta e multiplicado pelo peso médio de 100 frutos amostrados aleatoriamente por parcela. Quinze dias antes da colheita, 25 frutos foram amostrados para fins de determinação das concentrações de N, P, K, Ca e Mg. As adubações nitrogenada e potássica aumentaram o rendimento da macieira em cinco e quatro dos oito anos avaliados, respectivamente. O tamanho dos frutos foi mais afetado pela adubação potássica que pela nitrogenada. As adições de N e K influenciaram a composição mineral dos frutos, incrementando suas concentrações e as relações N:Ca e K:Ca. A adubação nitrogenada diminuiu as concentrações de Ca, Mg e P nos frutos.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh; Nitrogênio; Potássio; Rendimento; Composição mineral; Adubação

Abstract

Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield and mineral composition of 'Fuji' apples

Nitrogen and potassium are close related with the orchard productivity, since they are the most exported nutrients by apples (*Malus domestica* Borkh). The aim of this research was to evaluate the effect of nitrogen and potassium fertilizations on yield, size and mineral composition of 'Fuji'/Marubakaido apples. The experiment was conducted at São Joaquim, State of Santa Catarina, Brazil, from 1998 to 2006. A factorial arrangement was used with N and K annual fertilizer rates (0, 50, 100, 200 kg ha⁻¹ of N and K₂O) replicated in three orchards. The yield was estimated by multiplying the total number of fruits per tree and the mean weight of 100 randomly sampled fruits. Fifteen days prior to harvest, 25 fruits were analyzed for N, P, K, Ca and Mg content in the fruit flesh. In eight years of evaluation, the yield was increased in five and four years by nitrogen and potassium, respectively. The fruit size was more affected by potassium than by nitrogen fertilization. Fruit mineral composition was affected by both N and K fertilizations. N concentration and N:Ca ratio were increased by N fertilization and K concentration and K:Ca ratio were increased by K fertilization. Ca, Mg and P fruit concentrations were reduced by N fertilization.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; Nitrogen; Potassium; Yield; Mineral composition; Fertilization

2.1 Introdução

A produção de maçãs no Brasil, devido às exigências climáticas da cultura em frio, está concentrada no Estado de Santa Catarina, tendo como municípios pólos Fraiburgo e São Joaquim e no Estado do Rio Grande do Sul, principalmente no município de Vacaria.

O N e o K são os nutrientes mais extraídos pelas maçãs, sendo que a quantidade de K é muito superior à de N. Atualmente, com a adoção de novas tecnologias, a produtividade tem atingido patamares de até 100 t ha⁻¹ (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002), aumentando a extração dos nutrientes. A necessidade da adubação depende, sobretudo, do nível de nutrição, sendo que o N e o K podem interagir na resposta das culturas (MENGEL; KIRKBY, 2001).

A frutificação efetiva da macieira é influenciada pelo N, o qual exerce importante efeito na formação de gemas floríferas e aumenta o período de tempo em que o óvulo permanece apto à fecundação (PETRI, 2002). Por isso, a adubação nitrogenada tem sido utilizada para aumentar o rendimento e o tamanho de frutos (WARGO; MERWIN; WATKINS, 2003), embora os resultados na literatura são inconsistentes em provar tal efeito (DRAKE; RAESE; SMITH, 2002; NEILSEN; HOGUE; MEHERIUK, 1999). Trabalhos já realizados no Brasil, especificamente para as regiões de Fraiburgo-SC e Vacaria-RS, são unânimes em mostrar a ausência de resposta da macieira à adubação nitrogenada.

O K aumenta a translocação dos açúcares para os tecidos-drenos, promovendo o crescimento dos mesmos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Assim, os frutos de plantas deficientes em K são de tamanho reduzido (NEILSEN et al., 1998; DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000; NEILSEN et al., 2000; HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003), o que restringe o rendimento das mesmas (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002).

O excesso de N e de K pode interferir na nutrição do cálcio (Ca), aumentando a intensidade de distúrbios fisiológicos relacionados a esse nutriente, incluindo 'bitter pit', 'cork spot' e 'lenticel blotch pit', entre outros (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001).

As recomendações de adubação para a cultura da macieira nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul baseiam-se nas análises químicas de solo e de folha, crescimento dos ramos e produtividade dos pomares (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004). Essas recomendações foram obtidas, principalmente, a partir de resultados de pesquisas realizadas em Fraiburgo-SC e Vacaria-RS ou adaptados de outras regiões produtoras de maçã no mundo. A realização de ensaios regionais de adubação para São Joaquim, SC, região com características peculiares de solo e clima, torna-se imprescindível.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica sobre o rendimento, tamanho e composição mineral dos frutos da macieira 'Fuji' em um sistema de baixa densidade de plantio, nas condições edafo-climáticas de São Joaquim, SC.

2.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido nas estações de crescimento de 1998 a 2006, no município de São Joaquim – SC (28° 17' 25" S, 49° 56' 56" W – altitude de aproximadamente 1350 m), em três pomares comerciais com 12, 16 e 19 anos de idade, respectivamente. Os pomares foram plantados com o cultivar 'Fuji' sobre o porta-enxerto Marubakaido (vigoroso), num sistema de baixa densidade de plantio.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com os tratamentos distribuídos em fatorial completo 4x4 e três repetições, sendo cada pomar/local considerado uma repetição. Os solos utilizados foram Cambissolos em dois pomares e Neossolo em outro. O teor de argila e as características químicas dos pomares experimentais, no início do experimento, são apresentados na tabela 2.1.

As parcelas experimentais continham cinco plantas, espaçadas em 4,5 x 6,0 m em um dos pomares e 3,0 x 6,0 m nos outros pomares, sendo avaliadas as três centrais como plantas úteis. As áreas experimentais receberam o mesmo manejo

recomendado para pomares comerciais (EPAGRI, 2002), exceto em relação às adubações.

Tabela 2.1 - Análise do solo, anterior à instalação do experimento (1998)

Atributo	Pomar 1	Pomar 2	Pomar 3
pH (água)	6,8	6,4	6,6
P (mg dm ⁻³)	33	45	63
K (mg dm ⁻³)	141	240	258
Ca (mmol _c dm ⁻³)	89	112	119
Mg (mmol _c dm ⁻³)	60	62	64
M.O. (g dm ⁻³)	50	49	65
Argila (g dm ⁻³)	300	380	300

Os tratamentos foram combinações de doses de N e K (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e K₂O) aplicadas anualmente ao solo. As doses de K foram aplicadas na forma de cloreto de potássio, em pós-colheita (abril), juntamente com a dose única geral de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo. O N, na forma de uréia, foi parcelado, aplicando-se 50% em pós-colheita (abril) e 50% no início da estação de crescimento (setembro).

Todos os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo, sem incorporação, numa faixa de 2,2 m de largura, centralizada junto à linha de plantas. Uma vez que a uréia aplicada sobre a superfície do solo está sujeita a volatilização (HAVLIN et al., 2005), as adubações com N foram realizadas, sempre que possível, em dias chuvosos, pois não havia sistema de irrigação instalado.

Avaliou-se o rendimento a partir da contagem do número total de frutos por planta e multiplicado pelo peso médio de 100 frutos amostrados aleatoriamente por parcela.

Para a análise química de frutos, realizada a partir de 02/2003, amostras de 25 frutos por parcela foram coletadas, cerca de quinze dias antes da colheita. No laboratório, os frutos foram lavados com água destilada. As sub-amostras foram constituídas de duas frações longitudinais triangulares (1 cm de largura, externamente) de cada fruto, cortadas de forma radial, incluindo a epiderme. Essas partes foram moídas com auxílio de um processador e aproximadamente 5 g desse material foram digeridas com H₂O₂ (3,0 ml) + H₂SO₄ (1,5 ml) a 200 °C em bloco digestor. No extrato, determinaram-se as concentrações de P por espectrofotometria UV (método vanadato-

molibdato) e K, Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica em chama. O N foi determinado pelo método micro-Kjeldahl, após a digestão de 5 g com H₂O₂ (5,0 ml) + H₂SO₄ (5,0 ml) a 380 °C.

Na colheita, retiraram-se três amostras de 10 frutos de cada parcela. Essas amostras foram utilizadas para a avaliação da percentagem dos frutos com incidência de distúrbios fisiológicos relacionados à baixa concentração de Ca: 'bitter pit', 'lenticel blotch pit' e 'cork spot'. Uma das amostras foi utilizada imediatamente na colheita e as outras duas após três e seis meses de armazenamento em atmosfera convencional e temperatura de 2 °C.

Os dados das variáveis foram submetidos às análises de variância e de regressão ($P \leq 0,05$) para determinar os efeitos das doses de N e de K por meio do Statistical Analysis System (SAS, 1996).

2.3 Resultados e Discussão

Em nenhuma das safras, houve interação entre as doses de N e de K aplicadas ao solo sobre as variáveis analisadas. Por isso, somente são apresentados os efeitos principais para cada nutriente.

2.3.1 Rendimento da macieira em resposta à adição de nitrogênio

O rendimento da macieira foi aumentado significativamente pela adubação nitrogenada, em cinco dos oito anos de avaliação (Tabelas 2.2 e 2.3 e Figura 2.1), diferindo de outras pesquisas realizadas no Sul do Brasil (BASSO; SUZUKI 1992; ERNANI; DIAS; VANS, 1997; ERNANI; DIAS, 1999; FREIRE; ZANCAN; DITTMAR, 1999). O incremento máximo variou de 9,5 t ha⁻¹ em 99/2000 a 16,1 t ha⁻¹ no ano de 04/2005, representando 18,2% e 52,1% de incremento, respectivamente, em relação a quando não se aplicou N. Quando o modelo foi quadrático, as doses para obtenção dos máximos rendimentos variaram de 115 kg ha⁻¹ em 04/2005 a 161 kg ha⁻¹ em 00/2001 (Tabela 2.3).

A variação da resposta ao N entre os anos de avaliação pode estar relacionada às variações climáticas como a distribuição e intensidade das chuvas e a

temperatura do solo. Esses fatores exercem grande influência sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica, a quantidade de N perdida por lixiviação e volatilização (ALEXANDER, 1975) e sobre o suprimento e absorção de N pelas plantas (HAVLIN et al., 2005).

Tabela 2.2 - Produção de maçãs 'Fuji', em função da quantidade de nitrogênio aplicada ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

N (kg ha ⁻¹)	Ano								Média
	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	
	-----t ha ⁻¹ -----								
0	48,5	52,3	33,0	40,2	40,4	31,2	30,9	43,0	39,9
50	49,0	53,0	39,0	42,1	42,2	36,7	40,5	51,9	44,3
100	49,7	59,5	46,2	50,4	46,6	34,9	47,0	56,7	48,9
200	53,5	61,8	46,2	44,8	40,9	32,6	38,4	56,5	47,3
Média	50,2	56,6	41,1	44,4	42,5	33,8	39,2	52,0	45,1

Tabela 2.3 - Relação entre a produção de maçãs 'Fuji' ($y = t \text{ ha}^{-1}$) e a quantidade de nitrogênio ($x = \text{kg ha}^{-1}$ de N) aplicada ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

Ano	Equação	R ²
1998/1999	$\hat{y} = \bar{y} = 50,2$	-
1999/2000	$y = 52,13 + 0,0517x$	0,88
2000/2001	$y = 32,52 + 0,184x + 0,00057x^2$	0,98
2001/2002	$y = 39,07 + 0,151x + 0,00060x^2$	0,74
2002/2003	$\hat{y} = \bar{y} = 42,5$	-
2003/2004	$\hat{y} = \bar{y} = 33,8$	-
2004/2005	$y = 30,56 + 0,276x - 0,0012x^2$	0,97
2005/2006	$y = 43,07 + 0,208x - 0,0007x^2$	0,99

A ausência de resposta ao N no primeiro ano de avaliação pode ser atribuída ao fato de que as gemas que originam os frutos nessa safra já haviam sido diferenciadas no ano anterior (PETRI, 2002). Além disso, a macieira pode armazenar grande quantidade de N na forma de proteínas e reutilizá-la em ciclos posteriores de crescimento (TITUS; KANG, 1982; MANRU; HUAIRUI; HONGWEI, 1990).

As pesquisas realizadas em outras regiões de produção de maçãs no mundo não são consistentes em provar o efeito positivo da adubação nitrogenada sobre o

rendimento da macieira (DRAKE; RAESE; SMITH, 2002; WARGO; MERWIN; WATKINS, 2003). Nos trabalhos em que houve resposta positiva, o máximo rendimento ocorreu, em geral, em doses menores que 100 kg ha^{-1} , evidenciando que a macieira é pouco exigente em N quando comparada às culturas anuais.

Figura 2.1 – Variação da produção de maçãs 'Fuji' nos tratamentos sem nitrogênio, produção média das doses de nitrogênio e produção máxima promovida pela adição anual de nitrogênio ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

Basso e Suzuki (1992) avaliaram os efeitos das doses, épocas e dos modos de aplicação de N sobre a produção do cultivar 'Golden Delicious' durante sete anos de avaliação no município de Caçador-SC e não observaram em nenhuma das safras, aumento significativo da produção em função do aumento de N até quantidades de 160 kg ha^{-1} .

Ernani, Dias e Vans (1997) avaliaram o efeito das aplicações de N no período pós-colheita dos frutos, em Vacaria-RS, e não verificaram aumento no rendimento da macieira. Em outro trabalho, porém, avaliando o efeito das aplicações de N realizada na primavera sobre o rendimento de maçãs 'Fuji' e 'Gala', Ernani e Dias (1999) não verificaram nenhuma resposta significativa às doses de até 200 kg ha^{-1} de N, mesmo obtendo rendimentos superiores a 90 t ha^{-1} .

Ernani, Dias e Borges (2000), avaliando o efeito da adubação nitrogenada em diferentes estádios de desenvolvimento da macieira (no intumescimento de gemas ou na queda das pétalas ou parceladas nessas mesmas épocas e no raleio de frutos) no município de Vacaria-RS, observaram que o rendimento não foi influenciado pela aplicação do N em nenhuma dessas épocas.

A resposta positiva da macieira à adubação nitrogenada em São Joaquim-SC, possivelmente está associada ao tipo de solo desse local, os quais são rasos e com alta proporção de pedras, diferente dos solos utilizados nas pesquisas realizadas em Fraiburgo e Vacaria, que eram relativamente profundos e não pedregosos. A menor profundidade, além de limitar o volume do solo explorado pelas raízes, diminui a capacidade de armazenagem de água dos mesmos, a qual está diretamente associada ao suprimento de N às plantas (HAVLIN et al., 2005) e à mineralização da matéria orgânica do solo (ALEXANDER, 1975). Outro aspecto, é que a lixiviação do N pode ser maior nessas condições, uma vez que, não havendo raízes em profundidade, esse nutriente pode sair mais facilmente do alcance das mesmas.

A temperatura do solo exerce importante efeito sobre a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo (ALEXANDER, 1975). Ernani, Dias e Borges (2000) atribuíram a falta de resposta da macieira à adubação nitrogenada às temperaturas amenas que ocorrem no outono e no inverno no Sul do Brasil, relativamente a outros países produtores de maçã, favorecendo a mineralização do N da matéria orgânica e possibilitando que as plantas absorvam o N praticamente durante o ano todo. No entanto, as condições climáticas de São Joaquim-SC, possivelmente, aproximam-se mais às de outras regiões temperadas de produção de maçãs do mundo do que das condições de Vacaria-RS e Fraiburgo-SC. Devido às menores temperaturas que ocorrem em São Joaquim, provavelmente, a liberação de N via processo de mineralização é menor, além da menor taxa de absorção e do menor tempo que as raízes dispõem para absorver o N nessas condições.

2.3.2 Rendimento da macieira em resposta à adição de potássio

O rendimento da macieira foi aumentado pela adubação potássica em quatro dos oito anos de avaliação (Tabelas 2.4 e 2.5 e Figura 2.2), corroborando aos

resultados obtidos em outro experimento de longa duração realizado no Sul do Brasil por Ernani, Dias e Flore (2002). O incremento máximo de produção devido à adubação potássica variou de 8,4 t ha⁻¹ em 99/2000 a 17,5 t ha⁻¹ no ano de 04/2005, representando 16,0% e 68,3%, respectivamente, em aumento de rendimento nessas safras (Tabela 2.5).

Tabela 2.4 - Produção de maçãs 'Fuji', em função da quantidade de potássio aplicada ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

K₂O	Ano								
(kg ha⁻¹)	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	Média
	t ha⁻¹								
0	50,7	52,5	38,7	41,0	35,3	28,3	25,6	46,6	40,1
50	50,5	56,8	38,9	43,3	40,6	31,1	38,8	55,3	44,4
100	50,8	60,9	40,7	47,5	46,4	36,2	42,4	54,7	47,5
200	48,7	56,0	44,1	45,6	47,7	39,7	43,1	49,2	46,8
Média	50,2	56,5	40,6	44,3	42,5	33,8	37,5	51,4	44,7

Tabela 2.5 - Relação entre a produção de maçãs 'Fuji' ($y = t \text{ ha}^{-1}$) e a quantidade de potássio ($x = \text{kg ha}^{-1}$ de K₂O) aplicada ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

Ano	Equação	R²
1998/1999	$\hat{y} = \bar{y} = 50,2$	-
1999/2000	$y = 52,18 + 0,142x - 0,00061x^2$	0,96
2000/2001	$\hat{y} = \bar{y} = 40,6$	-
2001/2002	$\hat{y} = \bar{y} = 44,3$	-
2002/2003	$y = 34,98 + 0,151x - 0,0004x^2$	0,98
2003/2004	$y = 28,72 + 0,0583x$	0,95
2004/2005	$y = 28,04 + 0,230x - 0,0008x^2$	0,98
2005/2006	$\hat{y} = \bar{y} = 51,4$	-

Os maiores rendimentos médios, superiores a 50 t ha⁻¹, ocorreram nos anos de 99/2000 e 05/2006, havendo resposta significativa da adubação potássica nessas safras. As doses para obtenção dos máximos rendimentos, quando o modelo de regressão foi quadrático, variaram de 118 kg ha⁻¹ na safra 99/2000 a 189 kg ha⁻¹ na safra 02/2003 (Tabela 2.5). Esses valores são inferiores aos obtidos por Ernani, Dias e

Flore (2002), o que se deve ao rendimento relativamente menor que foi obtido no presente trabalho.

Figura 2.2 – Variação da produção de maçãs 'Fuji' nos tratamentos sem potássio, produção média das doses de potássio e produção máxima promovida pela adição anual de potássio ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

Com exceção da safra 99/2000, nos primeiros anos avaliados não houve efeito significativo da adubação potássica sobre a produção de maçãs, fato relacionado aos teores elevados de K trocável do solo, anteriormente à instalação do experimento (Tabela 2.1).

O aumento do rendimento no segundo ano de avaliação, quando o teor de K trocável ainda era alto pode estar relacionado com a ocorrência de déficit hídrico. Uma vez que o K move-se em direção às raízes, predominantemente via difusão e fluxo de massa (HAVLIN et al., 2005), períodos de escassez de água no solo podem afetar negativamente a absorção de K pela macieira e, conseqüentemente, a resposta à adubação (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002). Esse mesmo motivo pode ser usado para explicar, em parte, as flutuações dos rendimentos que ocorreram entre os anos de avaliação (Figura 2.2).

A produção de maçãs foi aumentada de forma mais consistente pela adubação potássica a partir do quarto ano de avaliação, fato atribuído à redução dos

teores de K trocável nas parcelas que não haviam recebido adubação (dados não mostrados). A ausência da resposta na safra 05/2006 pode estar associada ao aumento das reservas do nutriente na planta resultante dos menores rendimentos nas duas safras anteriores (Tabela 2.4).

2.3.3 Tamanho dos frutos em resposta à adição de nitrogênio e potássio

O efeito da adubação nitrogenada sobre o tamanho dos frutos não foi consistente, sendo que somente em dois dos oito anos de avaliação, o tamanho foi aumentado significativamente pelo N (Tabelas 2.6 e 2.7). Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Wargo, Merwin e Watkins (2003), que verificaram que o tamanho de maçãs variou mais em função da quantidade de frutos na planta do que em função da quantidade de N aplicada para a macieira.

Tabela 2.6 - Tamanho de maçãs 'Fuji', em função da quantidade de nitrogênio ou potássio aplicadas ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

N (kg ha ⁻¹)	Ano								Média
	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	
	Massa média de frutos (g)								
0	165	169	168	148	142	149	142	159	155
50	165	174	181	151	142	156	157	162	161
100	165	174	183	153	152	158	173	164	165
200	170	178	181	152	142	156	153	157	161
Média	166	174	178	151	145	155	156	161	161
	Massa média de frutos (g)								
K₂O (kg ha⁻¹)									
0	166	174	172	144	130	140	119	145	149
50	164	170	176	151	143	150	156	163	159
100	167	174	183	155	151	160	164	169	165
200	170	176	182	154	153	167	170	167	167
Média	167	174	178	151	144	154	152	161	160

A flutuação do tamanho médio dos frutos foi baixa no período de avaliação, variando de 145 a 178 g. Esse fato está associado à estabilidade de produção entre as safras. Nos anos em que houve efeito significativo do N sobre o tamanho dos frutos (00/2001 e 04/2005), a massa máxima foi obtida nas doses de 114 e 127 kg ha⁻¹ de N (Tabela 2.7).

O tamanho dos frutos foi aumentado de forma mais consistente pela adubação potássica, a partir da safra 01/2002 (Tabelas 2.7 e 2.8). Quando o modelo ajustado foi quadrático, as doses para obtenção do máximo tamanho variaram de 138 a

153 kg ha⁻¹ de K. Diversas pesquisas já reportaram o aumento do tamanho dos frutos em resposta à adubação potássica (NEILSEN et al., 1998; DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000; NEILSEN et al., 2000; HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003).

O efluxo de sacarose para o apoplasto é facilitado pela disponibilidade de K, o qual aumenta a translocação dos açúcares para tecidos-drenos e promove o crescimento dos mesmos (TAIZ; ZEIGER, 2004), como é o caso dos frutos. Assim, no manejo da nutrição que vise a produção de frutos grandes, a adubação potássica promove melhores resultados que a nitrogenada.

Tabela 2.7 - Relação entre o tamanho de maçãs 'Fuji' (y = g por fruto) e a quantidade de nitrogênio ou potássio (x = kg ha⁻¹ de N ou K₂O) aplicada ao solo no período de 1998 a 2006, São Joaquim, SC

Ano	Equação	R ²
Massa média de frutos vs Doses de N		
1998/1999	$\hat{y} = \bar{y} = 166$	-
1999/2000	$\hat{y} = \bar{y} = 174$	-
2000/2001	$y = 168,7 + 0,255x - 0,001x^2$	0,95
2001/2002	$\hat{y} = \bar{y} = 151$	-
2002/2003	$\hat{y} = \bar{y} = 145$	-
2003/2004	$\hat{y} = \bar{y} = 155$	-
2004/2005	$y = 140,5 + 0,525x - 0,0023x^2$	0,93
2005/2006	$\hat{y} = \bar{y} = 161$	-
Massa média de frutos vs Doses de K₂O		
1998/1999	$\hat{y} = \bar{y} = 167$	-
1999/2000	$\hat{y} = \bar{y} = 174$	-
2000/2001	$\hat{y} = \bar{y} = 178$	-
2001/2002	$y = 144,0 + 0,170x - 0,0006x^2$	0,99
2002/2003	$y = 130,0 + 0,3057x - 0,001x^2$	0,99
2003/2004	$y = 142,6 + 0,1331x$	0,98
2004/2005	$y = 121,1 + 0,701x - 0,023x^2$	0,95
2005/2006	$y = 145,6 + 0,386x - 0,0014x^2$	0,97

Os sintomas visuais da deficiência de K nas folhas iniciaram na safra 01/2002, quando os valores de K trocável no solo eram menores que 60 mg dm⁻³. Esse valor é semelhante aos obtidos por Neilsen et al. (1998) e Neilsen et al. (2000) para os solos do Canadá. No entanto, Ernani, Dias e Flore (2002) trabalhando com solos do Sul do Brasil observaram o aparecimento dos sintomas quando o teor de K trocável no solo era inferior a 45 mg dm⁻³. O maior valor em relação ao obtido em solos de Vacaria-RS

está relacionado à menor profundidade dos solos utilizados no presente estudo, o que limita o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a capacidade de absorção de água e nutrientes.

2.3.4 Composição mineral de frutos em resposta à adição de nitrogênio e potássio

As concentrações de N na polpa fresca de frutas tiveram aumento linear em 2006 com o aumento das doses de N e quadrático até as doses de 162 kg ha⁻¹ e 194 kg ha⁻¹, nos anos de 2003 e 2004, respectivamente (Figura 2.3), corroborando aos resultados obtidos por Raese e Drake (1997), que observaram aumento na concentração de N na casca e na polpa de maçãs em resposta à adubação nitrogenada.

Figura 2.3 - Concentrações médias de N na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de N adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

Em 2006, as concentrações de N no fruto foram superiores às obtidas nos anos anteriores de avaliação. Esse fato deve estar relacionado com os fatores climáticos envolvidos na mineralização da matéria orgânica e que, de alguma forma, facilitaram a mineralização da matéria orgânica, a absorção do N e a recuperação do N-fertilizante. Além disso, a maior reserva de N, em conseqüência da menor produção nas

duas safras anteriores (Tabela 2.2), também pode ter contribuído para a maior concentração de N nos frutos no ano de 2006.

As concentrações de Ca nos frutos em 2003 e 2006 foram diminuídas pela adição de N (Figura 2.4), possivelmente em decorrência do maior desenvolvimento dos ramos e folhas estimulado pelo N (dados não apresentados). O movimento de Ca no interior da planta ocorre através do xilema, sendo regulado principalmente pela transpiração (MARSCHNER, 1995). Uma vez que as folhas transpiram mais que os frutos, elas tendem a acumular mais Ca. Assim, quanto maior a área foliar maior será a competição entre folhas e frutos por esse nutriente. Embora, o tamanho possa influenciar a concentração de Ca nos frutos (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001), o N não afetou significativamente essa variável nessas safras.

Figura 2.4 – Concentrações médias de Ca na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de N adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

A diminuição das concentrações de Ca e o aumento das concentrações de N (Figuras 2.3 e 2.4) culminaram com o aumento da relação N:Ca (Figura 2.5). Entretanto, somente em 2006, quando as concentrações de N nos frutos foram relativamente altas, a relação N:Ca ultrapassou levemente o valor crítico de 10:1, para fins de tempo de conservação, preconizado por Susuki e Basso (2002). Dris, Niskanen e Fallahi (1999), avaliando o efeito do N e Ca na nutrição de seis cultivares de macieira, observaram que

houve maior variação na relação N:Ca das folhas do que dos frutos, encontrando valores nos últimos entre 5 a 16, dependendo do cultivar ou do ano de avaliação.

Figura 2.5 - Relações N:Ca médias na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de N adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

As concentrações médias de P, Mg e K nos frutos também foram reduzidas pela adubação nitrogenada (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Concentrações médias de P, Mg e K na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de N adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

As concentrações de K nos frutos aumentaram de forma linear com o aumento das doses de K, nos três anos avaliados (Figura 2.7). Na dose média de 100 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada ao solo, a concentração de K no fruto foi aumentada em aproximadamente 18% ou 168 mg kg⁻¹.

Hunsche, Brackmann e Ernani (2003), em trabalho similar realizado no Brasil, avaliaram o efeito das aplicações de doses anuais de até 300 kg ha⁻¹ de K₂O e após nove anos consecutivos de adubações observaram que a concentração de K nos frutos aumentou, porém, as de Ca e Mg mantiveram-se inalteradas. Entretanto, no presente trabalho, a aplicação de K reduziu significativamente a concentração de Ca nos frutos em dois dos três anos avaliados (Figura 2.8), mas não afetou a de Mg. A variabilidade do rendimento entre as pesquisas pode ter sido o principal fator para que esses diferentes resultados fossem obtidos, uma vez que o maior rendimento está geralmente associado a frutos menores e que concentram mais Ca (WARGO; MERWIN; WATKINS, 2003; IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001).

Figura 2.7 - Concentrações médias de K na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de K adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

A combinação do aumento da concentração de K e da diminuição de Ca no fruto culminaram com o aumento da relação K:Ca nos três anos de avaliação (Figura

2.9). No ano de 2006 a relação K:Ca foi superior a 38, valor considerado crítico para a armazenagem de maçãs (SUZUKI; BASSO, 2002). Entretanto, os resultados das avaliações de ocorrência de distúrbios fisiológicos realizadas na colheita e mesmo durante a armazenagem não mostraram qualquer tendência do aumento de 'bitter pit', 'cork spot' e 'lenticel blotch pit' em função do aumento das doses de K e N aplicadas ao solo (dados não mostrados).

Dris, Niskanen e Fallahi (1999) somente observaram a ocorrência de 'bitter pit' em dois dos seis cultivares avaliados, quando as concentrações de Ca ultrapassaram o limite de 45 mg kg^{-1} na polpa fresca dos frutos, concentração relativamente maior à máxima obtida nesse estudo.

Figura 2.8 - Concentrações médias de Ca na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de K adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

Hunsche, Brackmann e Ernani (2003), avaliando o efeito da adubação potássica sobre o mesmo cultivar utilizado nesse estudo, também não observaram a ocorrência de distúrbios fisiológicos nos frutos durante a armazenagem, apesar do alto teor de K trocável atingido no solo ($> 600 \text{ mg dm}^{-3}$), indicando que a adubação potássica não representou alto risco na indução de desequilíbrios fisiológicos de maçãs 'Fuji'.

Figura 2.9 – Relações K:Ca médias na polpa fresca de maçãs 'Fuji' nos anos de 2003, 2004 e 2006, em resposta às doses de K adicionadas anualmente ao solo, São Joaquim, SC

Telias et al. (2006) relataram que a natureza fisiológica da relação entre K e Ca sobre a ocorrência de 'bitter pit' em maçãs não é clara, sendo que esse efeito está melhor relacionado com a alteração que o K promove sobre as concentrações de Ca do que propriamente, na indução direta do distúrbio.

2.4 Conclusões

O rendimento, o tamanho e a composição mineral dos frutos da macieira foram influenciados de maneira não interativa pelas adubações nitrogenada e potássica.

A produção e o tamanho dos frutos foram incrementados pelas adições anuais de N e de K.

O tamanho dos frutos foi mais influenciado pela adubação potássica que pela nitrogenada.

A adubação nitrogenada promoveu o aumento da relação N:Ca e da concentração de N e o decréscimo das concentrações de Ca, Mg e P nos frutos.

A adubação potássica promoveu o aumento da relação K:Ca e da concentração de K e o decréscimo da concentração de Ca nos frutos.

Referências

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley, 1977, 467p.

BASSO, C.; SUZUKI, A. Resposta da macieira Cv. Golden Delicious à adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p. 223-227, 1992.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

DAUGAARD, H.; GRAUSLUND J. Fruit colour and correlations with orchard factors and post-harvest characteristics in apple cv. Mutsu. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.74, p.283-287, 2000.

DRAKE, S.R.; RAESE, J.T.; SMITH, T.J. Time of nitrogen application and its influence on 'golden delicious' apple yield and fruit quality. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.25 p.143-157, 2002.

DRIS, R.; NISKANEN, R.; FALLAHI, E. Relationships between leaf and fruit minerals and fruit quality attributes of apples grown under northern conditions. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.22, p.1839-1851, 1999.

EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: GMC/Epagri, 2002. 743 p.

ERNANI, P. R. (Ed). **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages, 2003. 76 p.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. Soil nitrogen application in the spring did not increase apple yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.645-649, 1999.

ERNANI P.R.; DIAS, J.; VANZ, L. Application of nitrogen to the soil after fruit harvest has not increased apple yield. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.19, p.33-37, 1997.

ERNANI P.R.; DIAS, J.; BORGES, M. A aplicação de nitrogênio ao solo em diferentes estádios não afetou o rendimento de frutos de cultivares de macieira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 223-227, 2000.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.33, p.1291-1304, 2002.

FREIRE, C.J. da S.; ZANCAN, C.; DITTMAR, E.A. Comportamento da macieira cv Gala/MM106 em função da adubação nitrogenada de primavera e de outono. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v.2, p.37-47, 1999.

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

HUNSCHE, M.; BRACKMANN, A. ERNANI, P.R. Efeito da adubação potássica na qualidade pós-colheita de maçãs Fuji. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.489-496, 2003.

IUCHI, V. L.; NAVA, G.; IUCHI, T. **Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira**. Florianópolis: Epagri/Jica, 2001. 74 p.

MANRU, G.; HUAI RUI, S.; HONGWEI, Z. A study on nitrogen nutrition of apple trees. In: Diagnosis of nutritional status of deciduous fruit orchards. **Acta Horticulturae**, Hague, v.274, p.179-185, 1990.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; MEHERIUK, M.; NEILSEN, D. Development and correction of K-deficiency in drip irrigated apple. **Hortscience**, Alexandria, v.33, p. 258-261, 1998.

NEILSEN, G.H; HOGUE, E.J; MEHERIUK, M. Nitrogen fertilization and orchard-floor vegetation management affect growth, nutrition and fruit quality of Gala apple. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.79, n.3, p. 379-385, 1999.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; NEILSEN, D.; ZEBARTH, B.J. Drip-fertigation of apples trees affects root distribution and the development of K deficiency. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.80, p. 353-361, 2000.

PETRI, J. L. Formação de flores, polinização e fertilização. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. p. 229-259.

RAESE, J.T.; DRAKE, S.R. Nitrogen fertilization and elemental composition affects fruit quality of 'Fuji' apples. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.20, p.1797-1809, 1997.

SAS INSTITUTE. The SAS-system for windows: release 6.08 (Software). Cary, 1996. 633 p.

SUZUKI, A.; BASSO, C. Fertilidade do Solo e nutrição da macieira. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**: Florianópolis, 2002. p. 341-381.

TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de R.E. Santarem. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TELIAS, A.; HOOVER, E.; ROSEN, C.; BEDFORD, D.; COOK, D. The effect of calcium sprays and fruit thinning on bitter-pit incidence and calcium content in 'Honeycrisp' apple. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.29, p.1941-1957, 2006.

TITUS, J.S.; KANG, S.M. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. **Horticultural Reviews**, New York, v.4, p. 204-246, 1982.

WARGO, J.M.; MERWIN; I.A., WATKINS, C.B. Fruit size, yield, and market value of 'GoldRush' apple are affected by amount, timing and method of nitrogen fertilization. **Horttechnology**, Alexandria, v.13, p.153-161, 2003.

3 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA SOBRE A QUALIDADE DOS FRUTOS DA MACIEIRA 'FUJI'

Resumo

O Nitrogênio e o potássio são os nutrientes encontrados em maiores concentrações nos frutos da macieira (*Malus domestica* Borkh) e, por isso, frequentemente estão associados com a qualidade dos mesmos. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica sobre alguns atributos qualitativos de maçãs 'Fuji'. O experimento foi conduzido durante 2004 e 2005 no município de São Joaquim-SC, Brasil e consistiu de um fatorial com doses de N e K aplicadas anualmente ao solo (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e de K₂O) e repetidas em três pomares comerciais. Quinze dias antes da colheita retiraram-se três amostras de frutos de cada tratamento e em cada pomar. Em uma das amostras, determinou-se imediatamente o teor de sólidos solúveis totais (SST), a firmeza da polpa, a percentagem da casca com pigmentos vermelhos e o valor 'hue'. As outras amostras foram armazenadas em câmara frigorífica de atmosfera convencional, onde se determinaram as características qualitativas após três e seis meses de armazenagem. A adubação nitrogenada afetou negativamente os parâmetros de coloração dos frutos, firmeza de polpa e SST. Essas mesmas variáveis, exceto para a firmeza da polpa, foram afetadas positivamente pela adubação potássica.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh; Firmeza; Acidez; Coloração do fruto; Sólidos solúveis; Nitrogênio; Potássio

Abstract

Effect of nitrogen and potassium fertilization on quality of 'Fuji' apples

Nitrogen and potassium are usually found in higher concentrations than other macronutrients in apple (*Malus domestica* Borkh) fruits and are most frequently associated with changes in fruit quality. The aim of this research was to evaluate the effects of nitrogen and potassium fertilization on some qualitative fruit attributes of 'Fuji' apple. The experiment was conducted at São Joaquim, State of Santa Catarina, Brazil, during 2004 and 2005. A factorial arrangement was used with N and K annual fertilizer rates (0, 50, 100, 200 kg ha⁻¹ of N and K₂O) replicated in three orchards. Fifteen days prior to harvest, three fruit samples were collected from each treatment and site. One sample was used for total soluble solid content (TSS), titratable acidity, flesh firmness, and fruit color parameters analyses and the other samples were refrigerated in conventional atmosphere for three and six months for subsequent determination of fruit quality. Nitrogen fertilization, negatively affected fruit color, flesh firmness, and total solid soluble content. These same variables were positively affected by potassium fertilization, except for the flesh firmness.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; Firmness; Titratable acidity; Fruit color; Soluble solids; Nitrogen; Potassium

3.1 Introdução

A qualidade e o tempo de armazenagem de maçãs são afetados por parâmetros físicos e químicos como firmeza da polpa, acidez titulável, sólidos solúveis, coloração da casca, entre outros (ARGENTA, 2002), os quais são influenciados pelas práticas de manejo usadas na produção de maçãs. A baixa acidez na colheita resulta em baixa qualidade organoléptica após a armazenagem e, conseqüentemente, em menor aceitação pelo consumidor. Um nível mínimo de acidez e de firmeza da polpa é requerido na colheita, abaixo do qual os frutos não são recomendados para estocagem.

O nitrogênio (N) e o potássio (K) são encontrados em maiores concentrações que os outros macronutrientes em maçãs e, por isso, frequentemente influenciam a qualidade das mesmas. O excesso de N na planta induz o rápido crescimento vegetativo, sombreando os frutos e reduzindo a coloração vermelha dos mesmos (DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000; STILES, 1994) e o teor de sólidos solúveis (DRIS; NISKANEN; FALLAHI, 1999). A firmeza da polpa tende a correlacionar-se negativamente com a concentração de N na polpa de maçãs (KINGSTON, 1992; DRAKE; RAESE; SMITH, 2002).

Em geral, a deficiência de K inibe a biossíntese de açúcares, ácidos orgânicos e vitamina C, resultando em frutos com conteúdos de sólidos solúveis baixos (SOBULO; OLORUNDA, 1977). Por outro lado, o K tende a correlacionar-se positivamente com a coloração (NEILSEN et al., 1998; DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000; NEILSEN et al., 2000; HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003) e a acidez dos frutos (NEILSEN et al., 1998; HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003). Entretanto, similarmente ao N, a adubação potássica pode diminuir a firmeza dos frutos (HUNSCHE; BRACKMANN; ERNANI, 2003).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica sobre a firmeza da polpa, acidez, coloração e teor de sólidos solúveis totais dos frutos da macieira 'Fuji' em pomares comerciais de São Joaquim, SC.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido durante as estações de crescimento de 2004 e 2005, no município de São Joaquim – SC (28° 17' 25" S, 49° 56' 56" W – altitude de aproximadamente 1350 m), em três pomares comerciais, com 12, 16 e 19 anos de idade, respectivamente. Os pomares foram plantados com o cultivar 'fuji' sobre o porta-enxerto Marubakaido num sistema de baixa densidade de plantio.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com os tratamentos distribuídos em fatorial completo 4x4 e três repetições, sendo cada pomar/local considerado uma repetição. As parcelas experimentais foram compostas por cinco plantas, espaçadas em 4,5 x 6,0 m em um dos pomares e 3,0 x 6,0 m nos outros dois pomares e receberam o mesmo manejo recomendado para pomares comerciais (EPAGRI, 2002), exceto em relação às adubações.

Os tratamentos foram combinações de doses de N e K (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e K₂O) aplicadas anualmente ao solo, desde 1998. As doses de K foram aplicadas na forma de cloreto de potássio, em pós-colheita (abril), juntamente com a dose única geral de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo. O N, na forma de uréia, foi parcelado, aplicando-se 50% em pós-colheita (abril) e 50% no início da estação de crescimento (setembro).

Todos os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo, sem incorporação, numa faixa de 2,2 m de largura, centralizada junto à linha de plantas. Uma vez que a uréia aplicada sobre a superfície do solo está sujeita a volatilização (HAVLIN et al., 2005), as adubações com N foram realizadas sempre que possível em dias chuvosos, pois não havia sistema de irrigação instalado.

Aproximadamente 15 dias antes da colheita, três amostras de frutos (15 frutos por amostra) foram coletadas em cada tratamento e em cada pomar. Em uma das amostras, determinou-se imediatamente (fruta fresca) o teor de sólidos solúveis totais (SST), a firmeza da polpa, a intensidade de coloração da epiderme. As outras amostras foram armazenadas em câmara frigorífica de atmosfera convencional (2 °C) por três e seis meses e após foram analisadas para SST, firmeza da polpa e intensidade de coloração da epiderme, igualmente às análises realizadas para frutas

frescas. A acidez titulável e o teor de vitamina C foram determinados em 2005, quinze dias após a colheita dos frutos, utilizando-se 20 frutos por amostra.

O teor de SST foi determinando com o uso de um refratômetro. A firmeza da polpa foi determinada usando-se um penetrômetro, o qual mediu a resistência da polpa à inserção de um êmbolo (diâmetro=11,3 mm). A coloração vermelha da epiderme dos frutos foi estimada visualmente, observando-se a proporção da superfície do fruto pigmentada de vermelho e expressa em percentagem do total. A coloração também foi determinada por meio de colorímetro (Minolta, Osaka, Japão) para determinar o valor hue ('hue'), o qual expressou a intensidade da cor vermelha; quanto maior o valor 'hue' menor a intensidade de cor vermelha da epiderme. Em 2005, os valores 'a' e 'b' também foram determinados com o colorímetro; valores crescentes indicam um aumento da cor vermelha ('a') e amarela ('b'), respectivamente.

A acidez titulável e o teor de vitamina C foram determinados a partir de subamostras compostas por duas frações longitudinais triangulares (1 cm de largura, externamente) de cada fruto, cortadas de forma radial, incluindo a epiderme, e trituradas em centrífuga. Uma alíquota de 5 ml de suco diluída em água destilada na proporção de 10:1 foi titulada com hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ para a determinação da acidez titulável. Outra alíquota de 10 ml do suco foi utilizada para a determinação do teor de vitamina C por meio de neutralização por titulação do ácido ascórbico em solução 2,6 – dicloro fenol indofenol (DCFI), conforme relatado por Pregnotatto e Pregnotatto (1985).

Os dados das variáveis qualitativas de frutos foram submetidos à análise de variância e de regressão para determinar os efeitos das doses de N e K e suas interações ($P \leq 0,05$). Quando significantes, as interações foram representadas em gráficos de superfície de resposta, para melhor visualização desses efeitos.

3.3 Resultados e Discussão

A firmeza da polpa e o teor de sólidos solúveis totais (SST) dos frutos diminuíram com o tempo de armazenagem (Tabela 3.1). A redução da firmeza da polpa foi mais intensa após seis meses de armazenamento dos frutos, a qual foi 15% menor em relação à avaliação realizada na época da colheita. Após seis meses de

armazenagem, o teor de SST também foi reduzido significativamente. Não foi observada interação entre o tempo de armazenagem e as quantidades de N e K aplicadas para a macieira.

Tabela 3.1 - Firmeza da polpa e teor de sólidos solúveis totais (SST) de maçãs 'Fuji' na colheita e após a armazenagem em atmosfera convencional (2 °C), ano de 2005

Época da avaliação	SST °Brix	Firmeza da polpa de maçãs (Newton)
Colheita	14,8*a	68,0 a
Após 3 meses de armazenagem	14,7 a	65,8 b
Após 6 meses de armazenagem	14,1 b	59,2 c

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

As adubações nitrogenada e potássica influenciaram a firmeza da polpa de forma não interativa. A adubação potássica em 2004 (Figura 3.1) e a adubação nitrogenada em 2004 e 2005 (Figura 3.2) reduziram a firmeza da polpa, conforme o modelo exponencial de ajuste. Resultados similares foram obtidos por Hunsche, Brackmann e Ernani (2003), que observaram uma redução na firmeza de polpa de maçãs 'Gala', associada ao aumento da concentração de K no solo e nos frutos.

Figura 3.1 - Firmeza da polpa de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de potássio ao solo no ano de 2004

Neilsen et al. (2004) também observaram após o uso de fertirrigação contendo K, a redução na firmeza da polpa de diversos cultivares de macieira plantados

no sistema de alta densidade de plantio. A redução da firmeza da polpa pode estar relacionada com o simultâneo aumento no tamanho dos frutos que a adubação potássica promoveu (dados não apresentados). Frutos maiores, geralmente apresentam menor firmeza de polpa, por possuírem menor percentual de seu volume ocupado com materiais da parede celular, o que lhes proporciona menor densidade e resistência à penetração do êmbolo do penetrômetro (SAMS, 1999).

Figura 3.2 - Firmeza da polpa de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio ao solo nos anos de 2004 e 2005

A redução da firmeza da polpa pelo N (Figura 3.2) já foi bem documentada em outras pesquisas (RAESE; DRAKE, 1997; NEILSEN; HOGUE; MEHERIUK, 1999). Drake, Raese e Smith (2002) avaliaram a resposta da macieira à adubação nitrogenada e observaram que a maior firmeza de polpa, coloração e teor de sólidos solúveis foi obtida nas doses mais baixas de N.

O aumento das relações N:Ca e K:Ca observado no presente estudo (dados não apresentados), também pode ter contribuído para que houvesse a diminuição na firmeza da polpa. O Ca está associado com a integridade da membrana e a resistência da parede celular e sua concentração no fruto tende a correlacionar-se positivamente com a firmeza da polpa (CASERO et al., 2004). Entretanto, os excessos de N e de K, em geral, reduzem as concentrações de Ca nos frutos (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001). Por

isso, a aplicação de quantidades de N e K além daquelas que a macieira necessita deve ser evitada, a fim de obterem-se frutos nutricionalmente balanceados e que suportem a armazenagem por períodos mais prolongados.

A acidez dos frutos não foi influenciada significativamente pela adubação nitrogenada e foi positivamente e linearmente correlacionada com a adubação potássica em 2005 (Figura 3.3). Casero et al. (2004) também observaram que acidez de maçãs 'Golden Smoothie' relacionou-se positivamente com a concentração de K na folha, bem como no fruto. Resultados similares foram obtidos por Hunsche, Brackmann e Ernani (2003), avaliando o efeito da adubação potássica na qualidade pós-colheita de maçãs 'Gala', para as condições do Brasil. Neilsen et al. (2004) observaram que a fertirrigação contendo K (15 g por planta) aumentou a concentração de K nas folhas e nos frutos e, conseqüentemente, a acidez dos frutos dos quatro cultivares de macieira avaliados ('Gala', 'Fuji', 'Fiesta' e 'Spartan').

Figura 3.3 - Acidez titulável do suco de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de potássio ao solo no ano de 2005

A acidez dos frutos é um dos mais importantes atributos considerado na qualidade de maçãs em pós-colheita. Se a acidez for baixa na colheita, a qualidade organoléptica, após a armazenagem pode ser rejeitada pelos consumidores (ARGENTA, 2002). Desta forma, a adubação potássica pode contribuir para a

manutenção do equilíbrio da acidez de maçãs e permitir com base nessa variável, maior tempo de armazenagem das mesmas.

A área vermelha da epiderme (Figura 3.4) e o valor 'hue' (Figura 3.5) foram influenciados significativamente pela adubação nitrogenada, porém, não pela potássica em 2004. Em 2005, esses mesmos atributos foram afetados de forma interativa pelas adubações nitrogenada e potássica (Figuras 3.6 e 3.7).

Figura 3.4 - Área vermelha da epiderme de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio ao solo no ano de 2004

Figura 3.5 - Valor 'Hue' da epiderme de maçãs 'fuji' em resposta à adição de nitrogênio ao solo no ano de 2004

Os valores menores de 'hue', com prevalência da cor vermelha (ao redor de 35) foram obtidos nas doses mais baixas de N, em geral menores que 50 kg ha⁻¹. Doses crescentes de N associaram-se a valores de 'hue' crescentes, sendo atenuados por altas doses de K. O máximo valor 'hue' foi alcançado quando as doses de N foram máximas (Figura 3.6) e, nessa situação, a coloração das maçãs foi prejudicada.

Os valores 'a' (Figura 3.8) e 'b' (Figura 3.9) foram influenciados de forma interativa pelas adubações nitrogenada e potássica em 2005. A adubação nitrogenada reduziu o valor 'a' e aumentou o valor 'b', indicando que o N está associado com o aumento da cor amarela e decréscimo da cor vermelha da epiderme de maçãs. Em contraste ao N, a adubação potássica aumentou o valor 'a' e reduziu o valor 'b'. Assim, a fim de obterem-se frutos mais vermelhos, deve-se evitar a deficiência de K e o excesso de N. Nesse aspecto, os efeitos negativos do N sobre a coloração de maçãs se sobressaem em relação aos efeitos positivos promovidos pelo uso de K.

Hunsche, Brackmann e Ernani (2003) observaram que a cor vermelha de maçãs foi positivamente correlacionada com a quantidade de K aplicada ao solo e atribuíram esse efeito ao aumento do teor de antocianinas, inferindo que o K pode ser importante na rota de formação desses pigmentos. Segundo esses autores, o K pode atuar como co-fator para a atividade de alguma enzima específica do processo de formação da antocianina, como é o caso da UDPGalactose:flavanóide-3-o-Glicosiltransferase (JU; DUAN; JU, 1999).

Por outro lado, a deficiência de N induz o acúmulo de carboidratos, uma vez que não podem ser usados na síntese de aminoácidos ou de outros compostos nitrogenados (TAIZ; ZEIGER, 2004). Os carboidratos acumulados podem, entretanto, serem utilizados na síntese de antocianina, o que pode explicar parcialmente a maior área vermelha da epiderme de frutos nas doses mais baixas de N (Figuras 3.6 e 3.7).

No presente estudo, a redução da cor vermelha das maçãs, quando foram aplicadas doses elevadas de N, pode ter sido promovida pelo maior crescimento vegetativo (dados não apresentados), o qual aumentou o sombreamento e, consequentemente, o amarelecimento dos frutos (RAESE; DRAKE, 1997; NEILSEN; HOGUE; MEHERIUK, 1999; DAUGAARD; GRAUSLUND, 2000).

Figura 3.6 - Valor "hue" da epiderme de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio e potássio ao solo no ano de 2005

Figura 3.7 - Área vermelha da epiderme de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio e potássio ao solo no ano de 2005

$$y = 29,5 - 0,136 + 0,0473K + 0,000358N^2 + 0,000218NK - 0,000236K^2 \quad R^2=0,80$$

Figura 3.8 - Valor 'a' (colorímetro) da epiderme de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio e potássio ao solo no ano de 2005

$$y = 21,3 + 0,0798N - 0,0382K - 0,000245N^2 - 0,0000361NK + 0,000102K^2 \quad R^2=0,68$$

Figura 3.9 - Valor 'b' (colorímetro) da epiderme de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio e potássio ao solo no ano de 2005

Os teores médios de vitamina C no suco de maçã foram baixos ($< 14 \text{ mg L}^{-1}$) e não foram influenciados significativamente pela adubação nitrogenada e nem pela potássica, por isso não foram apresentados.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi positivamente influenciado pela adubação potássica até as dosagens de 125 e 143 kg ha^{-1} para as safras de 2004 e 2005, respectivamente (Figura 3.10) e não houve interação entre as doses de N e de K. A importância do K no aumento do teor de SST já foi observada em outros trabalhos, uma vez que esse nutriente aumenta o efluxo da sacarose para o apoplasto, facilitando a sua translocação para tecidos-drenos, como é o caso dos frutos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Figura 3.10 - Teor de sólidos solúveis totais de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de potássio ao solo nos anos de 2004 e 2005

O teor de SST diminuiu linearmente em resposta à adubação nitrogenada em 2004 (Figura 3.11) e não foi influenciado pelo N em 2005. A redução do teor de SST das maçãs deve estar relacionada ao aumento do auto-sombreamento, promovido pelo maior crescimento vegetativo quando o N foi aplicado e que reduziu a luz solar incidente sobre a superfície dos frutos. Outras pesquisas já mostraram o efeito negativo da adubação nitrogenada sobre o teor de SST de maçãs (DRIS; NISKANEN; FALLAHI, 1999; DRAKE; RAESE; SMITH, 2002). Entretanto, mesmo para a maior dose de N, os

valores ficaram dentro da faixa de 13,0 a 14,4 °Brix, que é considerada normal para o cultivar 'fuji', segundo Argenta (2002).

Figura 3.11 - Teor de sólidos solúveis totais de maçãs 'Fuji' em resposta à adição de nitrogênio ao solo no ano de 2004

3.4 Conclusões

A firmeza da polpa dos frutos da macieira foi reduzida tanto pela adubação nitrogenada como pela potássica.

A acidez dos frutos foi aumentada pela adubação potássica e não foi influenciada pela nitrogenada.

A coloração dos frutos no ano de 2005 dependeu da combinação das doses de N e de K, sendo que a melhor coloração foi obtida pela combinação de doses baixas de N e altas de K.

No ano de 2004, a coloração dos frutos foi influenciada pela adubação nitrogenada e não o foi pela potássica.

O teor de sólidos solúveis totais dos frutos foi aumentado pela adubação potássica e diminuído pela nitrogenada.

O teor de vitamina C não foi influenciado pela adubação nitrogenada e nem pela potássica.

Referências

ARGENTA, L. C. Fisiologia pós-colheita: maturação, colheita e armazenagem dos frutos. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**: Florianópolis, 2002. p. 691-732.

CASERO, T; BENAVIDES, A; PUY, J; RECASENS, I. Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in golden smoothie apples using multivariate regression techniques. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.27, n.2, p.313-324, 2004.

DAUGAARD, H.; GRAUSLUND J. Fruit color and correlations with orchard factors and post-harvest characteristics in apple cv. Mutsu. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.74, n.3, p.283-287, 2000.

DRAKE, S.R.; RAESE, J.T.; SMITH, T.J. Time of nitrogen application and its influence on 'golden delicious' apple yield and fruit quality. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.25 p.143-157, 2002.

DRIS, R.; NISKANEN, R.; FALLAHI, E. Relationships between leaf and fruit minerals and fruit quality attributes of apples grown under northern conditions. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.22, p.1839-1851, 1999.

EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: GMC/Epagri, 2002. 743 p.

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

HUNSCHE, M.; BRACKMANN, A. ERNANI, P.R. Efeito da adubação potássica na qualidade pós-colheita de maçãs 'fuji'. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.489-496, 2003.

IUCHI, V. L.; NAVA, G.; IUCHI, T. **Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira**. Florianópolis: Epagri/Jica, 2001. 74 p.

JU, Z.; DUAN, Y.; JU, Z. Effects of covering the orchard floor with reflecting films on pigment accumulation and fruit coloration in 'fuji' apples. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.82, p.47-56, 1999.

KINGSTON, C. M. Maturity indices for apple and pear. **Horticultural Reviews**, New York, v.13, p.407-432, 1992.

NEILSEN, G.H; HOGUE, E.J; MEHERIUK, M. Nitrogen fertilization and orchard-floor vegetation management affect growth, nutrition and fruit quality of Gala apple. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.79, n3, p. 379-385, 1999.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; MEHERIUK, M.; NEILSEN, D. Development and correction of K-deficiency in drip irrigated apple. **Hortscience**, Alexandria, v.33, p. 258-261, 1998.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; NEILSEN, D.; ZEBARTH, B.J. Drip-fertigation of apples trees affects root distribution and the development of K deficiency. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.80, p. 353-361. 2000.

NEILSEN, G.H; NEILSEN, D; HERBERT, L.C; HOGUE, E.J. Response of apple to fertigation of N and K under conditions susceptible to the development of K deficiency. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.129, p.26-31, 2004.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N.P. (Coord). **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz**. 3 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. 578 p.

RAESE, J.T.; DRAKE, S.R. Nitrogen fertilization and elemental composition affect fruit quality of 'fuji' apples. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.20, p.1797-1809, 1997.

SAMS, C. E. Preharvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, p.249-254, 1999.

SOBULO, M.J.; OLORUNDA, A.O. The effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the canning quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in south-western Nigeria. **Acta Horticulturae**, Hogue, v.53, p.171-180, 1977.

STILES, W.C. Nitrogen management in the orchard. In: PETERSON, A.B.; STEVENS, R.G. (Ed.). **Tree fruit nutrition**. Yakima, WA: good Fruit Grower, 1994, p. 41-50.

TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de R.E. Santarem. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

4 COMPOSIÇÃO MINERAL DAS FOLHAS E CRESCIMENTO DA MACIEIRA 'FUJI' EM RESPOSTA A NITROGÊNIO E POTÁSSIO

Resumo

A diagnose foliar é uma importante ferramenta para a avaliação do estado nutricional da macieira. As concentrações dos nutrientes nas folhas variam em função da época de amostragem e em resposta às adubações. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada e potássica sobre a composição mineral das folhas e o crescimento da macieira 'Fuji'/Marubakaido (*Malus domestica* Borkh), bem como, avaliar a concentração foliar dos nutrientes em duas épocas de amostragem. O experimento foi conduzido no período de 1998 a 2006, no município de São Joaquim-SC, Brasil. Consistiu de um fatorial com doses de N e K aplicadas anualmente ao solo (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e de K₂O) e repetidas em três pomares comerciais. A análise química foi realizada em folhas coletadas na época padrão de amostragem, 15 de janeiro a 15 de fevereiro e também em folhas coletadas antecipadamente durante a segunda quinzena de novembro nas safras 2004/04 e 2005/06. O crescimento das plantas foi avaliado por meio das medições do perímetro do tronco e do comprimento dos ramos do ano. As concentrações dos macronutrientes nas folhas foram alteradas, principalmente pela adubação nitrogenada, que promoveu o incremento das concentrações de N, Ca e Mg e a redução das concentrações de K e P. A adubação potássica aumentou a concentração de K e reduziu a concentração de Mg nas folhas. O N influenciou o crescimento das plantas, aumentando o perímetro do tronco e o comprimento dos ramos do ano. A análise foliar realizada em novembro apresentou boa correlação com as concentrações foliares dos macronutrientes obtidas em janeiro/fevereiro.

Palavras-chave: *Malus doméstica* Borkh; Nitrogênio; Potássio; Folha; Composição mineral; Crescimento

Abstract

Leaves mineral composition and growth of 'Fuji' apple trees in response to nitrogen and potassium fertilizations

Foliar diagnosis is an important tool to assess the nutritional status of apple trees. Nutrient concentrations on leaves vary with both sampling time and fertilization practice. The aim of this paper was to evaluate the effects of nitrogen and potassium fertilizations on mineral concentration of leaves and on growth parameters of 'Fuji'/Marubakaido apple trees (*Malus domestica* Borkh), as well as to evaluate the relation between the nutrient concentration of leaves and the time of sampling. The experiment was conducted at São Joaquim, State of Santa Catarina, Brazil, from 1998 to 2006. A factorial arrangement was used with N and K annual fertilizer rates (0, 50, 100, 200 kg ha⁻¹ of N and K₂O) replicated in three orchards. Chemical analyses of

leaves collected in two sampling periods, from January 15 to February 15 (for all growth seasons), and in the second half of November (only for 2004/05 and 2005/06 growth seasons) were conducted. The growth of the plants was assessed by measuring the trunk girth and the new year shoot length. The nutrient concentrations of the leaves were modified, mainly by nitrogen fertilization, which increased N, Ca and Mg and reduced K and phosphorus concentrations. K leaf concentration was increased while Mg concentration was reduced by K fertilization. The plant growth was affected by N fertilization, which increased significantly the trunk girth and the new year shoot length. The chemical foliar analysis has shown that November sampling was useful in predicting the macronutrient concentration reached by the leaves in January/February.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; Nitrogen; Potassium; Leaf; Mineral composition; Growth

4.1 Introdução

A análise de solo é insuficiente para garantir um acompanhamento adequado do estado nutricional das plantas (RAIJ, 1991). A existência de nutrientes no solo, mesmo que supostamente em quantidades disponíveis suficientes, não garante o suprimento das plantas, visto que muitos fatores podem interferir na absorção. Além disso, para alguns nutrientes como o N, não há critérios adequados de análise de solo. No caso da fruticultura, os efeitos decorrentes do desequilíbrio nutricional são de grande proporção econômica, pois afetam diretamente a qualidade final do produto. Assim, a avaliação direta do estado nutricional das plantas é uma necessidade para a fruticultura.

Uma vez que as folhas são a sede da maioria dos processos fisiológicos, em geral, são elas que são analisadas, utilizando-se o seu conteúdo em nutrientes como base para avaliar o estado nutricional das plantas (RAIJ, 1991; BATAGLIA, 2005). O uso da análise química de plantas para fins de diagnóstico baseia-se na premissa de relações causais entre a taxa de crescimento e o conteúdo de nutrientes na matéria seca dessas partes (BATAGLIA, 2005). Segundo Suzuki e Basso (2002), a análise foliar é o melhor instrumento a ser utilizado pelo produtor para, junto com informações da análise do solo e do conhecimento da situação do pomar, estabelecer um programa de adubação que vise a obtenção do estado nutricional equilibrado da macieira.

Para elementos como o potássio (K) e o nitrogênio (N), que são móveis e rapidamente redistribuídos dentro da planta, a concentração na folha usualmente é um bom indicador do estado de K e N da planta como um todo e se correlaciona bem com os índices de performance fisiológica e crescimento em qualquer lugar (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Na diagnose foliar da cultura da macieira no Brasil recomenda-se que as folhas sejam coletadas no período entre 15 de janeiro a 15 de fevereiro (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, SUZUKI; BASSO, 2002), quando a concentração dos nutrientes nas folhas é menos variável. Entretanto, devido à proximidade desse período com a colheita e o tempo necessário para envio, realização e recebimento da análise do laboratório, os resultados somente são utilizados para a recomendação da adubação da safra seguinte. Face a esse problema, em algumas regiões de produção no mundo já existem trabalhos de pesquisas buscando avaliar a eficiência de utilização da análise foliar em épocas mais precoces do ciclo da cultura.

Entre os nutrientes, o N tem sido o que apresenta a melhor relação com o vigor e a produtividade das macieiras (MANRU; HUAI RUI; HONGWEI, 1990). Assim, é importante ter-se uma concentração de N dentro da faixa normal, que vise o equilíbrio de desenvolvimento entre a parte vegetativa e a reprodutiva e, conseqüentemente, uma produção regular no decorrer dos anos. Considera-se que a macieira está bem suprida em N quando sua concentração foliar encontra-se entre 20 a 25 g kg⁻¹ (BASSO; SUZUKI, 2002). A deficiência de N em macieira caracteriza-se pela redução do crescimento da planta e pela coloração verde-claro das folhas. A coloração é uniforme em toda a superfície da folha e os sintomas são mais visíveis em folhas velhas.

No entanto, o excesso de N, principalmente no período após a diferenciação floral, pode afetar negativamente a qualidade e conservação dos frutos (SUZUKI; BASSO, 2002), bem como, a nutrição das gemas para o ano seguinte (PETRI, 2002). O N tem efeitos marcantes sobre a absorção e concentração foliar de outros nutrientes. Alguns desses efeitos estão relacionados com o crescimento vegetativo dependente do N. Aumentando-se o N, normalmente há redução das concentrações foliares de K, P, Zn e B e aumento das concentrações de Ca e Mg (SUZUKI; BASSO, 2002).

Os sintomas visuais de deficiência de K caracterizam-se, inicialmente, pelo amarelecimento das margens das folhas que, com a evolução, chega à necrose. O início do aparecimento dos sintomas visuais depende da severidade da deficiência (SUZUKI; BASSO, 2002), porém, devido à alta demanda dos frutos por K, em geral, ocorrem na fase de maior crescimento dos mesmos (NAVA, 2001, ERNANI; DIAS; FLORE, 2002). As concentrações de K consideradas normais em folhas de macieira situam-se entre 12 a 15 g kg⁻¹ (SUZUKI; BASSO, 2002).

A disponibilidade e a absorção de K têm relação direta com a nutrição de outros elementos. Um adequado suprimento de K pode amenizar os efeitos negativos de uma adubação nitrogenada excessiva (SUZUKI; BASSO, 2002), porém, o excesso pode afetar negativamente a absorção e translocação do Mg e do Ca (MARSCHNER, 1995). O K é um íon forte competidor com outros cátions por causa da alta eficiência do sistema de absorção desse pela planta. Na ausência ou diminuindo-se a concentração de K na solução, a absorção de outras espécies catiônicas é aumentada, uma vez que a competição é menos severa (ROSOLEM, 2005).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito das adubações nitrogenada e potássica sobre a composição mineral das folhas, os parâmetros de crescimento da macieira e a relação entre a concentração dos nutrientes em duas épocas de amostragem, para o cultivar 'Fuji', nas condições de solo e clima de São Joaquim, SC.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido nas estações de crescimento de 1998 a 2006, no município de São Joaquim – SC (28° 17' 25" S, 49° 56' 56" W – altitude de aproximadamente 1350 m), em três pomares comerciais com 12, 16 e 19 anos de idade, respectivamente. Os pomares foram plantados com o cultivar Fuji sobre o porta-enxerto Marubakaido, num sistema de baixa densidade de plantio.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com os tratamentos distribuídos em fatorial completo 4x4 e três repetições, sendo cada pomar/local considerado uma repetição. Os solos utilizados foram Cambissolos em dois pomares e Neossolo em outro. O teor de argila e as características químicas dos pomares experimentais, no início do experimento, são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Análise do solo, anterior à instalação do experimento (1998)

Atributo	Pomar 1	Pomar 2	Pomar 3
pH (água)	6,8	6,4	6,6
P (mg dm ⁻³)	33	45	63
K (mg dm ⁻³)	141	240	258
Ca (mmol _c dm ⁻³)	89	112	119
Mg (mmol _c dm ⁻³)	60	62	64
M.O. (g dm ⁻³)	50	49	65
Argila (g dm ⁻³)	300	380	300

Os tratamentos foram combinações de doses de N e K (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N e K₂O) aplicadas anualmente desde 1998. As doses de K foram aplicadas na forma de cloreto de potássio, em pós-colheita (abril), juntamente com a dose única geral de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo. O N, na forma de uréia, foi parcelado, aplicando-se 50% em pós-colheita (abril) e 50% no início da estação de crescimento (setembro). Todos os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo, sem incorporação, numa faixa de 2,2 m de largura, centralizada junto à linha de plantas. Uma vez que a uréia aplicada sobre a superfície do solo está sujeita a volatilização (HAVLIN et al., 2005), as adubações com N foram realizadas sempre que possível em dias chuvosos, pois não havia sistema de irrigação instalado.

As parcelas experimentais continham cinco plantas, espaçadas em 4,5 x 6,0 m em um dos pomares e 3,0 x 6,0 m nos outros pomares, sendo avaliadas as três centrais como plantas úteis. As áreas experimentais receberam o mesmo manejo recomendado para pomares comerciais (EPAGRI, 2002), exceto em relação às adubações.

Avaliou-se o vigor das plantas, medindo-se o comprimento dos ramos do ano e o perímetro do tronco. O comprimento dos ramos foi avaliado no outono de 2004 a 2006, obtendo-se a média de 45 ramos por parcela (15 por planta), dispostos horizontalmente ao redor da planta. Mediu-se o perímetro do tronco a 30 cm acima do ponto de enxertia, no início (1998) e ao final do experimento (2006), obtendo-se o incremento no período por diferença entre as duas medidas.

Para a determinação da composição mineral, as folhas foram amostradas no período de 15 de janeiro a 15 de fevereiro de cada ano, conforme recomendado para a cultura da macieira nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Comissão de

Química e Fertilidade do Solo, 2004). Nas safras 2004/05 e 2005/06 fez-se uma coleta antecipada, amostrando-se as parcelas no período de 15 a 30 de novembro.

As folhas foram lavadas com detergente e enxaguadas com água destilada, secadas em estufa a 65 °C e moídas. Uma subamostra de 0,5 g do material moído foi submetida à digestão ácida nitroperclórica com HClO_4 (1,0 ml) + HNO_3 (6,0 ml) a 190 °C em bloco digestor. No extrato, determinaram-se as concentrações de P por espectrofotometria UV (método vanadato-molibdato) e K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica em chama. Determinou-se B pelo método de azometina H, após incineração de 0,3 g em forno mufla a 550 °C. O N foi determinado pelo método micro-Kjeldahl, após a digestão de 0,2 g com H_2O_2 (2,0 ml) + H_2SO_4 (5,0 ml) e sais catalisadores a 380 °C.

Os dados das variáveis foram submetidos às análises de variância e de regressão ($P \leq 0,05$) para determinar os efeitos das doses de N e K e suas interações. Quando significativas, as interações foram apresentadas na forma de superfície de resposta para melhor visualização desses efeitos. Os efeitos principais foram ajustados para modelos de regressão de até segundo grau.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Concentrações de N nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio

Nas avaliações realizadas entre os anos de 1999 a 2006, as concentrações de N tiveram aumento linear significativo em função das doses de N aplicadas ao solo (Tabela 4.2).

As concentrações foliares máximas de N foram obtidas sempre com a dose máxima aplicada, tendo variado de 21,2 g kg^{-1} em 2005 a 26,2 g kg^{-1} em 2006. As concentrações somente atingiram a faixa de interpretação acima do normal ($> 25 \text{ g kg}^{-1}$) em dois anos de avaliação (SUZUKI; BASSO, 2002), indicando resposta à adubação nitrogenada sem grandes riscos de excesso de N, nas condições de condução do experimento.

Tabela 4.2 - Concentração foliar de nitrogênio em macieira 'Fuji' na amostragem de 15 jan. a 15 fev., em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção no período de 1999 a 2006

Doses de N ou K ₂ O	Ano								Média
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
N (kg ha⁻¹)	N (g kg⁻¹)								
0	20,7	22,1	20,6	20,5	20,7	18,1	18,4	21,6	20,3
50	21,2	23,2	21,9	22,7	21,6	19,2	19,2	23,1	21,5
100	22,2	24,4	22,8	23,2	22,6	21,2	21,1	25,1	22,8
200	23,3	25,7	24,5	24,5	24,3	22,0	21,2	26,2	24,0
Média	21,9	23,9	22,5	22,7	22,3	20,1	20,0	24,0	22,2
Regressão ^{/1}	L *** R ² =0,98	L *** R ² =0,97	L *** R ² =0,98	L *** R ² =0,88	L *** R ² =0,99	L *** R ² =0,90	L *** R ² =0,79	L *** R ² =0,92	
K₂O (kg ha⁻¹)	N (g kg⁻¹)								
0	21,8	23,5	21,9	21,8	20,1	20,2	19,7	23,4	21,6
50	21,7	23,6	21,9	22,2	20,5	20,2	19,6	23,6	21,7
100	21,8	23,9	22,6	23,6	20,7	20,4	20,0	25,0	22,3
200	22,1	24,4	23,5	23,1	20,6	20,4	20,8	24,4	22,4
Média	21,9	23,9	22,5	22,7	20,5	20,3	20,0	24,1	22,0
Regressão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

^{/1} L = linear; ns, *, ** e *** = não significativo e significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

Na ausência da adubação nitrogenada, as concentrações foliares de N variaram entre 18,1 g kg⁻¹ a 22,1g kg⁻¹. Em 2004 e 2005, o nível crítico de 20 g kg⁻¹ (SUZUKI; BASSO, 2002) somente foi atingido com a aplicação de doses maiores que 50 kg ha⁻¹ de N, o que pode ser atribuído a fatores climáticos, que possivelmente restringiram a disponibilidade do N no solo e a recuperação do N-fertilizante nessas safras.

Esses resultados diferem dos obtidos em outras pesquisas realizadas no Sul do Brasil, que não mostraram efeito significativo da adubação nitrogenada sobre a concentração de N nas folhas (ERNANI; DIAS; VANZ, 1997; ERNANI; DIAS, 1999). No entanto, Ernani e Dias (1999) ressaltaram o fato de que em solos superficiais e com alta proporção de pedras, a liberação de N é menor e, conseqüentemente, a resposta da macieira à adubação nitrogenada é alterada. Essas características são semelhantes às que ocorrem nos solos utilizados no presente estudo, justificando assim os resultados obtidos.

As temperaturas do solo menores em São Joaquim-SC que em Vacaria-RS, também podem ter influenciado as taxas de mineralização da matéria orgânica e de absorção de N. Trabalhando com raízes intactas de macieira, Baht (1982) observou após um período de seis horas, um decréscimo na taxa de absorção de nitrato em

função do decréscimo da temperatura, notavelmente quando entre 5 e 10 °C. O autor atribuiu essa resposta à alteração da energia de ativação para a absorção de nitrato quando as temperaturas eram inferiores a 10 °C.

Em nenhum ano de avaliação as concentrações de N nas folhas foram alteradas significativamente pela adubação potássica, concordando com os resultados obtidos por Ernani, Dias e Flore (2002) que avaliaram a resposta do mesmo cultivar que usado no presente estudo, durante sete anos de avaliação, e não verificaram alteração da concentração foliar de N em resposta à adição anual de K ao solo.

4.3.2 Concentrações de K nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio

A adição de K ao solo influenciou as concentrações desse nutriente nas folhas em todos os anos de avaliação a partir da safra 2001 (Tabela 4.3). O alto teor inicial de K trocável no solo (Tabela 4.1) foi o fator responsável para que não houvesse resposta nos dois primeiros anos de avaliação. A máxima concentração foliar de K, nas parcelas que não receberam adubação potássica, ocorreu no primeiro ano de avaliação, quando o teor de K trocável no solo ainda era elevado (dados não apresentados). Quando não se aplicou K, as concentrações de K foliar variaram entre 8,7 e 16,3 g kg⁻¹.

Com exceção do primeiro ano, quando não se aplicou K, as concentrações foliares de K ficaram abaixo do limite inferior da faixa de suficiência considerada normal (< 11,9 g kg⁻¹), segundo Suzuki e Basso (2002), indicando a necessidade de adições anuais de K para a obtenção do equilíbrio nutricional das plantas e de rendimentos econômicos, conforme comprovado por Ernani, Dias e Flore (2002).

As concentrações médias de K foram variáveis entre os anos de avaliação (11,4 a 17,1 g kg⁻¹), devendo-se principalmente às oscilações da quantidade de frutos na planta (ERNANI; DIAS; FLORE, 2002,) e às alterações do ambiente do solo como a temperatura e a umidade, que afetam significativamente o suprimento e a absorção desse nutriente pelas plantas ((MARSHNER, 1995; HAVLIN et al., 2005).

Os frutos representam um forte dreno de K na planta, uma vez que este tem alta mobilidade no floema e é o nutriente mais exportado nas maçãs. Assim, em plantas

com grande quantidade de frutos, pode haver alta remobilização do K das folhas para os frutos (NEILSEN; NEILSEN, 2003; ERNANI; DIAS; FLORE, 2002), ocasionando a diminuição da concentração do K nas folhas (FERGUNSON; WATKINS, 1992).

Tabela 4.3 - Concentração foliar de potássio em macieira 'Fuji' na amostragem de 15 jan. a 15 fev., em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção nos período de 1999 a 2006

Doses de N ou K₂O	Ano								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Média
N (kg ha⁻¹)	K (g kg⁻¹)								
0	17,9	14,5	13,2	13,4	16,3	13,5	13,4	15,7	14,7
50	17,6	13,4	13,7	11,2	14,1	12,0	11,4	13,7	13,4
100	17,0	11,9	12,9	11,9	13,9	11,6	10,3	13,6	12,9
200	15,9	10,8	11,7	11,7	13,1	12,9	10,4	11,4	12,2
Média	17,1	12,7	12,9	12,1	14,4	12,5	11,4	13,6	13,3
Regressão ^{1/}	ns	L* R ² =0,95	L* R ² =0,77	ns	ns	ns	ns	ns	
K₂O (kg ha⁻¹)	K (g kg⁻¹)								
0	16,3	11,8	10,7	9,3	11,1	9,6	8,7	9,7	9,1
50	17,0	12,3	12,0	11,8	12,3	11,7	10,2	12,0	10,5
100	17,3	12,5	13,8	13,5	15,3	13,7	12,4	15,0	12,2
200	17,8	13,9	15,0	13,7	18,2	15,8	14,2	17,5	13,8
Média	17,1	12,6	12,9	12,1	14,2	12,7	11,4	13,6	11,4
Regressão	ns	ns	L* R ² =0,94	L* R ² =0,76	L* R ² =0,97	L* R ² =0,96	L* R ² =0,96	L** R ² =0,96	

^{1/} L = linear; ns, *, ** e *** = não significativo e significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

Ernani, Dias e Flore (2002) avaliaram o efeito da adição anual de K ao solo durante sete anos, e obtiveram ao final desse período, teores elevados de K trocável no solo (> 600 mg dm⁻³), porém, na maioria dos anos, as concentrações foliares de K não atingiram a faixa normal de suficiência. Esse fato levou os autores a concluir que a concentração de K nas folhas, quando utilizada isoladamente, não é um bom indicativo da disponibilidade de K para a macieira.

Nos anos de 2000 e 2001, a adição de N ao solo promoveu a redução das concentrações foliares de K. Raese (1986) e Chun et al. (2002) também observaram a diminuição das concentrações de K nas folhas da macieira à medida que as concentrações foliares de N aumentaram. Esse fato pôde ser constatado visualmente no campo, onde os sintomas de deficiência de K nas folhas eram mais intensos nas parcelas sem aplicação de K e com altas doses de N. Nesse caso, o crescimento vegetativo estimulado pelo N, provavelmente causou a diluição do K na parte aérea, realçando os sintomas de deficiência.

4.3.3 Concentrações de P nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio

A concentração de P nas folhas situou-se, em geral, na faixa normal de suficiência (1,5 a 3,0 g kg⁻¹) e, em alguns, casos acima do normal, segundo Suzuki e Basso (2002). Em todos os anos de avaliação, as concentrações foliares de P foram reduzidas significativamente pela adubação nitrogenada (Tabela 4.4), corroborando aos resultados obtidos por Neilsen, Hogue e Meheriuk (1999) que observaram em cinco dos seis anos de avaliação, um decréscimo das concentrações de P em resposta à aplicação parcelada de até 240 kg ha⁻¹ de N ao solo. Diversos trabalhos já relataram a alteração das concentrações foliares de P devido à adição de N, sempre mostrando a redução da concentração desse nutriente à medida que o N aumenta (WEEKS, 1957; RAESE; DRAKE, 1997), o que está relacionado ao efeito de diluição.

Tabela 4.4 - Concentração foliar de fósforo em macieira 'Fuji' na amostragem de 15 jan. a 15 fev., em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção nos período de 1999 a 2006

Doses de N ou K ₂ O	Ano								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Média
N (kg ha⁻¹)	P (g kg⁻¹)								
0	3,29	3,02	2,97	3,00	2,85	2,77	2,65	3,22	2,97
50	2,98	2,87	2,85	2,53	2,62	2,52	2,16	2,76	2,66
100	2,68	2,41	2,47	2,21	2,00	2,07	1,89	2,15	2,24
200	2,36	1,90	2,00	2,07	1,71	1,62	1,54	1,62	1,85
Média	2,83	2,55	2,57	2,45	2,30	2,25	2,06	2,44	2,43
Regressão ¹	L *** R ² =0,96	L *** R ² =0,97	L *** R ² =0,98	L ** R ² =0,83	L *** R ² =0,92	L *** R ² =0,98	L *** R ² =0,93	L *** R ² =0,96	
K₂O (kg ha⁻¹)	P (g kg⁻¹)								
0	2,84	2,54	2,67	2,38	2,49	2,37	2,32	2,46	2,51
50	2,76	2,51	2,58	2,31	2,13	2,25	1,95	2,39	2,36
100	2,82	2,62	2,60	2,54	2,26	2,00	2,06	2,41	2,41
200	2,88	2,53	2,54	2,56	2,21	2,27	1,90	2,40	2,41
Média	2,83	2,55	2,60	2,45	2,27	2,22	2,06	2,42	2,42
Regressão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

¹ L = linear; ns, *, ** e *** = não significativo e significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

No presente trabalho, o P foi o nutriente que apresentou a relação mais consistente com a adubação nitrogenada. Por isso, para uma melhor interpretação dos resultados foliares de P, é importante levar-se em conta as variações que o N promove sobre a concentração desse nutriente. No entanto, em oito anos de avaliação, apesar da redução que o N promoveu sobre as concentrações de P, não foi observada

deficiência desse nutriente, indicando que a dose única de 50 kg ha⁻¹ de P foi suficiente para atender a demanda da cultura pelo nutriente.

Em nenhum dos anos de avaliação as concentrações de P nas folhas foram influenciadas significativamente pela adubação potássica (Tabela 4.4).

4.3.4 Concentrações de Ca nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio

As concentrações de Ca nas folhas da macieira, em geral, situaram-se dentro da faixa de concentração normal (11 a 17 g kg⁻¹), segundo Suzuki e Basso (2002), fato relacionado aos altos teores iniciais desse nutriente nos solos (Tabela 4.1). Somente em 2003, as concentrações médias de Ca nas folhas foram inferiores a 11 g kg⁻¹ (Tabela 4.5), coincidindo com a falta de chuvas que houve nesse ano de avaliação (dados não mostrados).

Tabela 4.5 - Concentração foliar de cálcio em macieira 'Fuji' na amostragem de 15 jan. a 15 fev., em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção nos período de 1999 a 2006

Doses de N ou K ₂ O	Ano								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Média
N (kg ha⁻¹)	Ca (g kg⁻¹)								
0	11,2	11,5	13,4	11,4	8,9	10,6	12,2	14,4	11,7
50	11,6	11,9	14,4	11,7	9,8	13,8	12,9	15,5	12,7
100	11,5	12,4	15,4	12,5	11,2	13,5	15,2	15,6	13,4
200	11,6	12,2	15,9	12,6	11,2	13,2	13,6	16,0	13,3
Média	11,5	12,0	14,8	12,1	10,3	12,8	13,5	15,4	12,8
Regressão ^{1/}	ns	ns	L *** R ² =0,89	L * R ² =0,82	L ** R ² =0,76	Q *** R ² =0,83	Q ** R ² =0,77	ns	
K₂O (kg ha⁻¹)	Ca (g kg⁻¹)								
0	11,8	11,8	15,6	12,0	10,6	13,1	13,6	15,5	13,0
50	11,3	11,9	15,1	12,2	10,0	12,5	12,9	16,0	12,7
100	11,7	12,6	14,5	12,6	10,6	12,6	13,4	15,7	13,0
200	11,3	11,6	13,7	11,4	10,0	12,6	14,0	14,6	12,4
Média	11,5	12,0	14,7	12,1	10,3	12,7	13,5	15,5	12,8
Regressão	ns	ns	L * R ² =0,99	ns	ns	ns	ns	ns	

^{1/} L = linear; Q = quadrática; ns, *, ** e *** = não significativo e significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

Na maioria dos anos de avaliação, as concentrações foliares de Ca foram aumentadas significativamente pela adubação nitrogenada, corroborando aos

resultados obtidos em outras pesquisas de adubação da macieira (WEEKS, 1957; RAESE; DRAKE, 1997; NEILSEN et al., 2004).

Resultados similares também foram encontrados para a cultura de citros por Smith e Wallace (1982), que observaram que a adubação nitrogenada promoveu aumento da capacidade de troca de cátions das raízes e, em consequência, as concentrações foliares de K diminuíram e as de Ca aumentaram.

Segundo Basso (1995), as fontes de N podem afetar a nutrição do Ca por diversas razões: por alterar o pH externo; pela competição (NH_4^+) ou estimulação (NO_3^-) na absorção de Ca; ou por melhorar o transporte de Ca no xilema, uma vez que o NO_3^- é o ânion acompanhante preferencial para o transporte de Ca dentro da planta.

O incremento de Ca observado à medida que o N aumentou também pode estar associado ao decréscimo da concentração foliar de K que a adubação nitrogenada promoveu (Tabela 4.3), o que pode ter favorecido a absorção de Ca. O K é o cátion mais absorvido pela macieira e, quando suas concentrações na planta são reduzidas, pode haver uma absorção compensatória de outros cátions, principalmente de Ca e Mg que estão em maior concentração na solução (NEILSEN; NEILSEN, 2003), de modo que o somatório de cargas positivas absorvidas pela planta fique aproximadamente estável (ROSOLEM, 2005).

Entretanto, os resultados obtidos para as concentrações de Ca nas folhas foram contrastantes em relação às obtidas nos frutos, que foram significativamente reduzidas pela adubação nitrogenada (dados não apresentados). Segundo Epstein e Bloom (2006), para os elementos que não são móveis no floema, a análise de folhas pode não informar o estado nutricional de outros órgãos. Nessa situação, a combinação do uso das análises de folha e de fruto pode ser mais eficiente na predição da qualidade dos frutos do que, o uso de ambas isoladamente (FALLAHI; RIGHETTI; RICHARDSON, 1985).

Os efeitos da adubação potássica sobre as concentrações foliares de Ca foram pouco evidentes. Somente na safra 2001 foram reduzidas significativamente pelo K (Tabela 4.5). Ernani, Dias e Flore (2002) avaliaram o efeito de adições anuais de K durante sete anos e também observaram que as concentrações médias de Ca

diminuíram de 15 g kg^{-1} (sem aplicação de K) para 13 g kg^{-1} quando aplicaram a dose máxima de 300 kg ha^{-1} de K_2O .

Embora, o efeito negativo da adubação potássica sobre a concentração foliar de Ca foi inconsistente no presente estudo, a concentração de Ca e a relação K:Ca nos frutos foram influenciadas negativamente pela adição de K (dados não mostrados). Esses resultados reforçam o fato de que a interpretação das concentrações de Ca feita exclusivamente a partir da análise foliar é pouco eficiente para fins de avaliação do equilíbrio nutricional dos frutos da macieira.

A grande variabilidade das concentrações de Ca entre os anos de avaliação pode estar relacionada com as variações climáticas, afetando a umidade relativa e a temperatura do ar e a umidade e a temperatura do solo. Tromp (1980) observou que a absorção de Ca pela macieira por unidade de massa seca de ramos produzida foi significativamente maior na temperatura do solo de 8°C quando comparada à temperatura de 18°C . A transpiração da parte aérea das plantas, associada à disponibilidade de água no solo, são fatores importantes na movimentação de Ca na solução do solo até a superfície das raízes via fluxo de massa, bem como para o transporte de Ca no xilema (MARSCHNER, 1995).

4.3.5 Concentrações de Mg nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio

As concentrações de Mg nas folhas foram aumentadas pela adubação nitrogenada em 2001 e 2003 e diminuídas pela potássica em 2001, 2004, 2005 e 2006 (Tabela 4.6), possivelmente devido ao efeito antagônico na absorção de K e Mg pela planta (HAVLIN et al., 2005; NEILSEN; NEILSEN, 2003).

Ernani, Dias e Flore (2002) avaliaram o efeito de adições anuais de K durante sete anos e também observaram que as concentrações médias de Mg diminuíram de $5,8 \text{ g kg}^{-1}$ (sem aplicação de K) para $4,1 \text{ g kg}^{-1}$ quando aplicaram a dose máxima de 300 kg ha^{-1} de K_2O . Resultados semelhantes foram obtidos por Nielsen et al. (2004) que observaram que a alteração mais consistente promovida pela fertirrigação da macieira com K foi a diminuição das concentrações de Mg nas folhas.

O aumento da concentração foliar de Mg em função do aumento da dose de N aplicada pode ser explicado em parte pela competição entre os íons NH_4^+ e K^+ , o que causou a redução das concentrações foliares de K e que foi, de certa forma, compensada pela absorção de Mg (FALLAHI; COLT; FALLAHI, 2001; NEILSEN et al., 2004; NEILSEN et al., 1998).

Tabela 4.6 - Concentração foliar de magnésio em macieira 'Fuji' na amostragem de 15 jan. a 15 fev., em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção nos período de 1999 a 2006

Doses de N ou K_2O	Ano								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Média
N (kg ha^{-1})	Mg (g kg^{-1})								
0	2,06	2,29	2,01	2,49	1,75	2,36	3,24	4,03	2,53
50	2,16	2,24	2,27	2,42	2,16	3,20	3,54	4,65	2,83
100	2,16	2,71	2,37	2,50	2,22	3,00	4,08	4,35	2,92
200	2,30	2,81	2,55	2,72	2,22	2,86	3,74	4,85	3,01
Média	2,17	2,51	2,30	2,53	2,09	2,86	3,65	4,47	2,82
Regressão ^{1/}	ns	ns	L * R ² =0,92	ns	Q * R ² =0,94	ns	ns	ns	
K_2O (kg ha^{-1})	Mg (g kg^{-1})								
0	2,24	2,74	2,72	2,35	2,47	3,49	4,50	5,42	3,15
50	2,17	2,55	2,46	2,72	2,36	2,68	3,81	4,76	2,94
100	2,20	2,28	2,13	2,57	2,18	2,84	3,20	4,14	2,69
200	2,08	2,48	1,90	2,50	2,07	2,23	3,08	3,56	2,49
Média	2,17	2,51	2,30	2,54	2,08	2,81	3,65	4,47	2,82
Regressão	ns	ns	L ** R ² =0,94	ns	ns	L * R ² =0,79	L * R ² =0,80	L ** R ² =0,95	

^{1/} L = linear; Q = quadrática; ns, *, ** e *** = não significativo e significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente.

As concentrações médias de Mg nas folhas da macieira variaram amplamente no decorrer dos anos, desde 2,17 g kg^{-1} na safra 1999 até 4,47 g kg^{-1} no ano de 2006. Essas variações podem ter sido decorrentes das oscilações da quantidade de frutos sobre as planta no decorrer dos anos, das condições ambientais como a umidade relativa do ar (TROMP, 1980) e de fatores do solo como a umidade e temperatura (ATKINSON, 1998).

Em diversos anos, a concentração foliar de Mg ficou abaixo do limite inferior da faixa considerada normal (2,5 a 4,5 g kg^{-1}), segundo Suzuki e Basso (2002), apesar das elevadas concentrações iniciais desse nutriente no solo (Tabela 4.1). Assim, no manejo da nutrição do Mg, deve-se evitar o excesso de K, uma vez que esse nutriente reduziu as concentrações de Mg nas folhas (Tabela 4.6). A deficiência de Mg, além de

diminuir suas próprias reservas, pode afetar o equilíbrio nutricional de outros nutrientes na planta, uma vez que promove o desfolhamento precoce da planta, impedindo a remobilização dos nutrientes das folhas para os órgãos de reserva da planta que ocorre no outono (SUZUKI; BASSO, 2002). A deficiência de Mg também causa a redução da fotossíntese, uma vez que ele é o cátion central da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995).

4.3.6 Concentrações de micronutrientes nas folhas em resposta à adição de nitrogênio e potássio

De maneira geral, as concentrações dos micronutrientes avaliados nesse estudo foram menos influenciadas pelas adubações que as concentrações dos macronutrientes. As concentrações de Mn variaram amplamente entre os anos e somente em 1999 foram reduzidas pela adubação nitrogenada ($y = 354,4 - 0,207x$, $R^2 = 0,93$). Embora, o N tenha reduzido as concentrações de Mn, os valores obtidos foram altos e muito além daqueles exigidos pela cultura, segundo os padrões foliares sugeridos por Suzuki e Basso (2002), provavelmente, devido à contaminação por fungicidas contendo esse nutriente. As concentrações foliares de B somente foram reduzidas significativamente pela adição de N em 2006 ($y = 25,2 - 0,0258x$, $R^2 = 0,73$), corroborando aos resultados obtidos por Neilsen et al. (2004). A adubação potássica não afetou a concentração foliar de B e nem de Mn em nenhum dos anos.

Entre os micronutrientes, o Fe foi o mais afetado pelas adubações, principalmente pela nitrogenada. Entretanto, os resultados não são consistentes para provar alguma tendência, uma vez que em 2002 a adubação nitrogenada aumentou a concentração de Fe e em 1999 e 2000 diminuiu (Figura 4.1).

Raese (1986) observou aumento significativo das concentrações foliares de Fe para os cultivares 'Wellspur' e 'Oregon Spur' após a aplicação de uréia. Há diversos relatos dando conta que a adubação nitrogenada aumentou as concentrações de Fe nas folhas da macieira (RAESE; DRAKE, 1997; NEILSEN et al., 2004), fato atribuído ao efeito acidificante dos fertilizantes nitrogenados, atuando no aumento da disponibilidade do Fe no solo.

No ano de 2002, as concentrações de Fe nas folhas também foram aumentadas significativamente pela adubação potássica (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Concentração foliar de Fe em macieira 'Fuji' em janeiro – fevereiro, em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção nos anos de 1999, 2000 e 2002

As concentrações de Zn variaram amplamente entre os anos de avaliação, o que pode estar relacionado às flutuações climáticas e à contaminação por fungicidas contendo esse nutriente. Os efeitos das adubações sobre as concentrações de Zn foram pouco evidentes e foram aumentadas em 2000 e 2002 pelo N e K, respectivamente (Figura 4.2). Raese e Drake (1997) também observaram que a adubação nitrogenada aumentou a concentração de Zn nas folhas da macieira, como resultado do efeito acidificante, o qual aumentou a disponibilidade desse nutriente.

Praticamente inexistem trabalhos de literatura mostrando algum tipo de antagonismo entre N e K e os micronutrientes no solo, em termos de absorção pela macieira. Isso reforça o fato de que a influência das adubações potássica e nitrogenada sobre as concentrações dos micronutrientes na planta deve-se mais ao efeito de diluição do que à inibição da absorção. Há também, o efeito acidificante de determinados fertilizantes nitrogenados (RAESE, 1985; NEILSEN et al., 2004).

Figura 4.2 - Concentração foliar de Zn em macieira 'Fuji' em janeiro – fevereiro, em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção nos anos de 2000 e 2002

4.3.7 Correlações entre as concentrações de macronutrientes em duas épocas de amostragem

No ciclo de 2004/05, todos os macronutrientes apresentaram relações altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre as concentrações nas folhas em novembro e suas respectivas concentrações na amostragem padrão de janeiro/fevereiro (Figura 4.3). O N foi o nutriente que apresentou o menor coeficiente de determinação (0,73), fato que se deve à instabilidade das concentrações desse nutriente no solo no decorrer do tempo (ERNANI, 2003).

Resultados semelhantes foram obtidos em 2005/06, quando também houve alta relação entre as concentrações dos nutrientes nas duas épocas de amostragens (Figura 4.4). O menor coeficiente de determinação foi obtido para o Ca, no entanto, ainda assim foi considerado altamente significativo ($r=0,65$). A alta relação das concentrações dos nutrientes entre as duas épocas de avaliação sugere que a amostragem foliar precoce pode ser utilizada satisfatoriamente no estabelecimento do programa de adubação, conferindo um ajuste fino da nutrição mineral da macieira. Uma vez sendo detectadas concentrações abaixo do normal para um determinado nutriente,

numa fase mais precoce do desenvolvimento vegetativo da cultura, medidas corretivas de nutrição poderiam ser realizadas ainda no ciclo em andamento.

Figura 4.3 - Relação entre as concentrações de N, P, K, Ca e Mg nas folhas da macieira 'Fuji', nas amostragens precoce (15 a 30 de novembro) e padrão (15 de janeiro a 15 de fevereiro) da safra 2004/2005, n = 48; *** (significativo a 0,1%)

Figura 4.4 - Relação entre as concentrações de N, P, K, Ca e Mg nas folhas da macieira 'Fuji', nas amostragens precoce (15 a 30 de novembro) e padrão (15 de janeiro a 15 de fevereiro) da safra 2005/2006, $n=48$; *** (significativo a 0,1%)

Para os micronutrientes, os coeficientes de determinação obtidos foram, em geral, menores que 0,40 e não significativos (dados não apresentados). A análise de correlação para Zn e Mn foi ineficaz, uma vez que as concentrações variaram amplamente entre os pomares estudados, possivelmente devido ao efeito de contaminação por fungicidas contendo esses micronutrientes, frequentemente aplicados antes da data de coleta das amostras.

4.3.8 Crescimento da macieira em resposta à adição de nitrogênio e potássio

4.3.8.1 Perímetro do tronco

O crescimento do perímetro do tronco entre 1998 (início do experimento) e 2006 (final) foi influenciado significativamente pela adubação nitrogenada, porém, não pela potássica (Figura 4.5). O perímetro do tronco aumentou, seguindo o modelo quadrático, atingindo o máximo de 15,2 cm na dose de 195 kg ha⁻¹ de N. Aproximadamente, a metade desse crescimento foi promovida pela adubação nitrogenada, corroborando ao fato de o N ser o principal nutriente relacionado ao vigor da macieira (MANRU; HUAIRUI; HONGWEI, 1990).

Figura 4.5 - Incremento do perímetro do tronco da macieira 'Fuji', no período 1998 a 2006, em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção

Outras pesquisas realizadas fora do Brasil mostraram que a adubação nitrogenada promoveu incremento no crescimento das plantas (RAESE; DRAKE, 1997; NEILSEN; HOGUE; MEHERIUK, 1999). Entretanto, nos diversos trabalhos realizados no Sul do Brasil, em Vacaria-RS e Fraiburgo-SC, os quais avaliaram o efeito das doses e das épocas de aplicação de N em macieira (BASSO; SUZUKI, 1992; ERNANI; DIAS; VANZ, 1997; FREIRE; ZANCAN; DITTMAR, 1999; ERNANI; DIAS; BORGES, 2000), em nenhum deles houve incremento significativo do perímetro do tronco ou da área da secção transversal do tronco.

Possivelmente, a menor profundidade e que, associada à alta pedregosidade nos solos e às menores taxas de mineralização da matéria orgânica na região de São Joaquim, influenciaram para que houvesse menor disponibilidade de N quando comparado às condições de Vacaria e Fraiburgo e, conseqüentemente, na resposta da macieira, quanto ao crescimento das plantas, quando se adubou com N.

É importante ressaltar que, no presente estudo, o porta-enxerto utilizado era vigoroso, diferente daqueles utilizados nas pesquisas de Vacaria e Fraiburgo. Provavelmente, com a utilização de um porta-enxerto menos vigoroso, o efeito do N sobre o crescimento das plantas pode ser ainda mais evidente.

4.3.8.2 Comprimento dos ramos do ano

O comprimento dos ramos do ano foi influenciado significativamente em 2004, havendo interação entre as doses de N e de K. Nessa safra, a adubação nitrogenada promoveu aumento do comprimento dos ramos, sendo que nas doses mais elevadas de N, o crescimento dos ramos foi estabilizado pela adição de doses maiores de K (Figura 4.6). Em 2005 e 2006, o comprimento dos ramos somente foi influenciado pela adubação nitrogenada, aumentando de forma linear em 2005 e de forma quadrática em 2006, até a dose máxima de 131 kg ha^{-1} de N (Figura 4.7).

Raese (1986), avaliando a resposta da macieira à adição de fontes de N e de P ao solo também observou que as fórmulas que continham N aumentaram o crescimento dos ramos do ano e o tamanho das folhas, influenciando positivamente o rendimento de frutos da cultura.

$$y = 22,44 + 0,0145N + 0,00723K - 0,0000204N^2 - 0,000108NK + 0,0000309K^2 \quad (R^2 = 0,67^{**})$$

Figura 4.6 - Comprimento dos ramos do ano da macieira 'Fuji' em 2004, em função da adubação nitrogenada e potássica de manutenção

Figura 4.7 - Comprimento dos ramos do ano da macieira 'Fuji' em 2005 e 2006, em função da adubação nitrogenada de manutenção

Dong et al. (2005), avaliando o efeito de métodos de aplicação de N, também observaram que o comprimento dos ramos da macieira foi significativamente aumentado pela adição de N tanto via solo como via foliar. Resultados similares foram obtidos por Wargo, Merwin e Watkins (2003) em outro estudo sobre a avaliação das doses, épocas e métodos de aplicação de N no crescimento da macieira.

Em diversas pesquisas realizadas no Sul do Brasil (ERNANI; DIAS; VANZ, 1997; FREIRE; ZANCAN; DITTMAR, 1999; BASSO; SUZUKI, 1992), não foram verificados aumentos no crescimento dos ramos do ano em resposta à adubação nitrogenada. Os resultados contrastantes do efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento das plantas entre as diferentes pesquisas são decorrentes de uma combinação de vários fatores relacionados ao solo e ao clima e que já foram comentados para o perímetro do tronco.

No entanto, em pomares onde o vigor das plantas é baixo, seja por problemas relacionados com o solo, com fatores climáticos adversos ou mesmo em consequência de produções anteriores excessivas, justifica-se a aplicação de N, face aos incrementos que esse nutriente promoveu sobre o comprimento dos ramos (Figuras 4.6 e 4.7) e perímetro do tronco (Figura 4.5).

4.4 Conclusões

As concentrações dos macronutrientes nas folhas foram alteradas, principalmente pela adubação nitrogenada, a qual promoveu o incremento das concentrações de N, Ca e Mg e a redução das concentrações de K e P.

A adubação potássica aumentou a concentração de K e reduziu a concentração de Mg nas folhas.

O N estimulou o vigor das plantas, aumentando o crescimento do perímetro do tronco e dos ramos do ano.

A análise química das folhas coletadas na segunda quinzena de novembro mostrou-se útil na estimativa das concentrações foliares dos macronutrientes atingidos na época padrão de amostragem, entre 15 de janeiro a 15 de fevereiro.

Referências

ATKINSON, C.J. Temperature and irrigation effects on the cropping, development and quality of 'Cox' s Orange Pippin' and 'Queen Cox' apples. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.75, p.59-81, 1998.

BATAGLIA, O.C. Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do fosfato, 2005. p. 321-341.

BAHT, K.K.S. Nutrient inflows into apple roots. II. Nitrate uptake rates measured on intact roots of mature trees under field conditions. **Plant Cell Environment**, Oxford, v.5, p.461-469, 1982.

BASSO, C. **Influence of potassium, calcium, and magnesium availability in the soil on nutrients in leaves and fruits, and the evolution of surface wax and nutrients during apple fruit development**. 1995. 109 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – North Carolina State University, Raleigh, 1995.

BASSO, C.; SUZUKI, A. Resposta da macieira Cv. Golden Delicious à adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p. 223-227, 1992.

CHUN, I.J.; FALLAHI, E.; COLT, W.M.; SHAFII, B.; TRIPEPI, R.R. Effects of rootstocks and micro sprinkler fertigation on mineral concentrations, yield, and fruit color of 'BC-2 Fuji' apple. **Journal of the American Pomological Society**, University Park, v.56, p.4-13, 2002.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

DONG, S.F.; CHENG, L.L.; SCAGEL, C.F.; FUCHIGAMI, H. Method of nitrogen application in summer affects plant growth and nitrogen uptake in autumn in young Fuji/M26 apple trees. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.36, p.1465-1477, 2005.

EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: GMC/Epagri, 2002. 743 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** Tradução de M.E.T. Nunes. 2nd. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

ERNANI, P. R. (Ed). **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira.** Lages, 2003. 76 p.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. Soil nitrogen application in the spring did not increase apple yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.645-649, 1999.

ERNANI P.R.; DIAS, J.; VANZ, L. Application of nitrogen to the soil after fruit harvest has not increased apple yield. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.19, p.33-37, 1997.

ERNANI P.R.; DIAS, J.; BORGES, M. A aplicação de nitrogênio ao solo em diferentes estádios não afetou o rendimento de frutos de cultivares de macieira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 223-227, 2000.

ERNANI, P.R.; DIAS, J. FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.33, p.1291-1304, 2002.

FALLAHI, E.; RIGHETTI, T.L.; RICHARDSON, D.G. predictions of quality by preharvest fruit and leaf mineral analyses in 'Starkspur Golden Delicious' apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 110, p.524-527, 1985.

FALLAHI, E; COLT, W.M.; FALLAHI, B. Optimum ranges of leaf nitrogen for yield, fruit quality, and photosynthesis in 'BC-2 Fuji' apple. **Journal of the American Pomological Society**, University Park, v.55, p.68-75, 2001.

FERGUNSON, I.B.; WATKINS, C.B. Crop load affects mineral concentrations and incidence of bitter pit in 'Cox' s Orange Pippin apple fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, p.373-376, 1992.

FREIRE, C.J. da S.; ZANCAN, C.; DITTMAR, E.A. Comportamento da macieira cv Gala/MM106 em função da adubação nitrogenada de primavera e de outono. **Agropecuária Clima temperado**, Pelotas, v.2, p.37-47, 1999.

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

MANRU, G.; HUAI RUI, S.; HONGWEI, Z. A study on nitrogen nutrition of apple trees. In: Diagnosis of nutritional status of deciduous fruit orchards. **Acta Horticulturae**, Hogue, v.274, p.179-185, 1990.

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

NAVA, G. Descrição dos desequilíbrios nutricionais da macieira. In: IUCHI, V. L.; NAVA, G.; IUCHI, T. **Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira**. Florianópolis: Epagri/Jica, 2001. p. 62-74.

NEILSEN, G.H.; NEILSEN, D. **Nutritional requirements of apple**. In: FERREE, D.C.; WARRINGTON, J.J. Apples, Botany, production and uses: CABI PUBLISHING: Cambridge, USA, 2003. p. 267-302.

NEILSEN, G.H; HOGUE, E.J; MEHERIUK, M. Nitrogen fertilization and orchard-floor vegetation management affect growth, nutrition and fruit quality of Gala apple. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.79, n.3, p. 379-385, 1999.

NEILSEN, G.H.; PARCHOMCHUK, P.; MEHERIUK, M.; NEILSEN, D. Development and correction of K-deficiency in drip irrigated apple. **Hortscience**, Alexandria, v.33, p. 258-261, 1998.

NEILSEN, G.H; NEILSEN, D; HERBERT, L.C; HOGUE, E.J. Response of apple to fertigation of N and K under conditions susceptible to the development of K deficiency. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.129, p. 26-31. 2004.

PETRI, J. L. Formação de flores, polinização e fertilização. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. p.229-259.

RAESE, J.T. Response of delicious apple trees in the greenhouse to rates of nitrogen and phosphorus in a low-phosphorus soil. **Hortscience**, Alexandria, v.20, p. 234-236, 1985.

RAESE, J.T. Improved performance of bearing 'Delicious' apple trees with nitrogen and phosphate fertilization in a low-phosphorus soil. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 111, p.665-669, 1986.

RAESE, J.T.; DRAKE, S.R. Nitrogen fertilization and elemental composition affects fruit quality of 'Fuji' apples. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.20, p.1797-1809, 1997.

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

ROSOLEM, C.A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do fosfato, 2005. p. 239-260.

SMITH, R. I.; WALLACE, A. Influence of nitrogen fertilization, cation concentration, and root cation-exchange capacity on calcium and potassium uptake by plants. **Soil Science**, Baltimore, v.82, p.165-172, 1982.

SUZUKI, A.; BASSO, C. Fertilidade do Solo e nutrição da macieira. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. p. 341-381.

TROMP, J. Mineral absorption and distribution in young apple trees under various environmental conditions. In: ATKINSON, D.; JACKSON, J.E.; SHARPLES, R.O.; WALLER, W.M. **Mineral nutrition of fruit trees**, Butterworths, Boston, MA, 1980. p. 173-182.

WARGO, J.M.; MERWIN, I.A.; WATKINS, C.B. Fruit size, yield, and market value of 'GoldRush' apple are affected by amount, timing and method of nitrogen fertilization. **Horttechnology**, Alexandria, v.13, p.153-161, 2003.

WEEKS, W.D. The effect of varying rates of nitrogen and potassium on the mineral composition of McIntosh foliage and fruit color. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.71, p.11-19, 1957.

5 EFEITO DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE PAPEL NA SUPERFÍCIE DO SOLO E DA QUANTIDADE DE FRUTOS NA PLANTA EM ATENUAR O DÉFICIT HÍDRICO DA MACIEIRA

Resumo

A escassez de água tem sido cada vez mais freqüente. Assim, o uso de práticas de manejo que reduzam a entrada desse recurso na agricultura é fundamental. Os objetivos desse trabalho foram: avaliar a influência do déficit hídrico sobre o equilíbrio nutricional e produção da macieira; determinar se a aplicação de resíduo de papel na superfície do solo e a quantidade de frutos na planta influenciam o balanço hídrico da mesma. O experimento iniciou em 2005 e as avaliações foram realizadas durante a estação de crescimento do ano de 2006, no município de Summerland-BC, Canadá. Consistiu da combinação do déficit hídrico em três períodos do ciclo da macieira (50 a 90, 80 a 110 e 110 a 150 dias após a plena floração - DAPF), aplicação de resíduo de papel na superfície do solo (com e sem) e ajuste da quantidade de frutos (100% e 50%). O delineamento experimental foi blocos ao acaso e os tratamentos foram obtidos pela combinação dos três fatores de estudo, além de dois tratamentos extras (controle e controle + resíduo de papel na superfície do solo). Os tratamentos foram estabelecidos numa faixa de 2 m, centralizada na linha de plantio de um pomar de alta densidade (3700 plantas ha⁻¹), cultivar 'Golden Delicious' (*Malus domestica* Borkh) e implantado em 1997. As plantas que foram submetidas ao déficit hídrico nos períodos de 50 a 90 e 80 a 110 DAPF tiveram a condutância estomática reduzida, porém, essa variável não foi alterada pela quantidade de frutos. A aplicação de resíduo de papel na superfície do solo atenuou a redução da condutância estomática provocada pelo déficit hídrico no período de 50 a 90 DAPF, mas não influenciou essa variável para os demais períodos. A menor quantidade de frutos refletiu em maior massa média dos mesmos, porém, em menor rendimento. A produção e a massa média de frutos foram maiores na presença do resíduo de papel na superfície do solo quando comparadas à ausência do mesmo. As concentrações dos nutrientes nos frutos variaram em resposta aos períodos de déficit hídrico e, em geral, foram maiores quando a quantidade de frutos era menor. As concentrações de K, P e B foram aumentadas pelo uso de resíduo de papel na superfície do solo, tanto nas folhas como nos frutos. A quantidade de frutos foi o fator que menos influenciou as concentrações dos nutrientes nas folhas.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh; Déficit hídrico; Resíduo de papel; Quantidade de frutos; Rendimento; Composição mineral

Abstract

Effect of paper mulch and fruit crop load in alleviating the water deficit for apple trees

The water scarcity has been more frequent in recent years. For this reason, development of practices of management that can reduce the use of water is

fundamental. The objectives of the work were: to evaluate the water deficit influence on the nutritional equilibrium and production in apple; to determine the paper mulch and fruit crop-load effects on the plant water balance. The experiment commenced in 2005 and the evaluations were conducted during 2006 growth season, in Summerland-BC, Canada. Trial consisted of the imposition of water deficit in three different times of apple trees growth (50 to 90, 80 to 110 e 110 to 150 days after full bloom - DAFB), the application or not of shredded paper mulch on the soil surface and the adjustment of crop load (50 e 100%). A randomized blocks design was used and treatments done by combination of the three factors, besides two extra treatments (control and control + mulch). Treatments were established over a 2 m wide strip centered on the tree row in a high density (3700 trees ha⁻¹) 'Golden Delicious' (*Malus domestica* Borkh) orchard, planted in 1997. Plants submitted to water deficit in the periods of 50 to 90 and 80 to 110 DAFB showed reduced stomatal conductance, but this variable was not affected by fruit amount. The use of paper mulch alleviated the reduction in stomatal conductance caused by water deficit in the period of 50 to 90 DAFB, but no influence of the mulch was detected in the other periods. The lowest fruit crop load caused highest average fruit mass, but lowest yield. Production and average fruit mass were greater in the presence of mulch, if compared to mulch absence. Nutrients concentrations in fruits ranged in response to the water deficit periods, and were generally higher when fruit number was lower. Both, leaf and fruit K, P and B concentrations were increased by mulch practice. Fruit crop load was the factor that less affected the nutrient concentrations on leaves.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; Water deficit; Paper mulch; Crop load; Yield; Mineral composition

5.1 Introdução

A macieira é cultivada no mundo numa ampla faixa de solos e condições climáticas, havendo grande variabilidade na disponibilidade de água às plantas entre os locais (MPELASOKA; BEHOUNDAIN; GREEN, 2001). A disponibilidade de água em sincronia com a necessidade da planta é primordial para a produção econômica de colheitas de alto valor e que assegurem o alto investimento de uma cultura perene, como é o caso da macieira.

A ocorrência da seca é um dos riscos mais importantes que afeta a atual agricultura canadense, aplicando-se tanto a sistemas irrigados como aos sistemas não irrigados de produção. Em sistemas irrigados de produção é possível estudar-se os efeitos do estresse hídrico sob condições controladas, sendo que os resultados obtidos podem ser aplicáveis para sistemas irrigados ou não.

Em resposta à variabilidade de clima, os vales do semi-árido do interior da província de British Columbia e, particularmente, da bacia do lago Okanagan estão sujeitos às pressões potenciais da população (COHEN et al., 2006), devido ao conflito de distribuição da água entre os diversos usos: produção de energia; mananciais de conservação; uso doméstico e uso com finalidade agrícola. A agricultura responde por 75% do total da água utilizada na Bacia do Okanagan e a produção de colheita é completamente dependente da irrigação.

O uso eficiente da irrigação, para a obtenção do máximo rendimento e qualidade, em um ambiente sustentável, requer o conhecimento do uso de água pela cultura, bem como sua relação com a quantidade de frutos na planta e a disponibilidade de água no solo (MPELASOKA; BEHOUNDAIN; GREEN, 2001).

O uso de água na irrigação inferior às quantidades perdidas por evapotranspiração (irrigação deficiente) pode ser uma boa alternativa em termos de redução de custos de irrigação, economia de água, redução da lixiviação e da contaminação por biocidas de águas subterrâneas, decréscimo do vigor da planta e, conseqüentemente, do custo de poda e da melhoria da qualidade de frutos (BEHOUNDAIN; MILLSS, 1997).

O menor tamanho dos frutos, particularmente quando o déficit hídrico ocorre durante a fase de rápido crescimento do fruto, constitui-se na principal desvantagem do uso da irrigação deficiente (MPELASOKA; BEHOUNDAIN; GREEN, 2001). Esse efeito pode ser contrabalançado pela redução do número de frutos por planta (NAOR et al.; 1999; VOLZ et al., 1993), a qual reduz a perda de água por transpiração (WUNSCH; PALMER; GREER, 2000).

A cobertura do solo com resíduos orgânicos pode atenuar os efeitos da seca, por meio da redução da taxa de evaporação da água do solo. O uso de resíduos na superfície do solo, além de manter a umidade do solo (MERWIN; STILES; VANES, 1994), auxilia no controle das plantas daninhas, diminuindo a necessidade de aplicação dos herbicidas, aumenta a atividade biológica do solo (HARTLEY et al., 1996), o crescimento da planta e a concentração dos nutrientes nas folhas (NEILSEN et al., 2003) e melhora as propriedades físicas e químicas do solo (NEILSEN et al., 2002).

O estudo das interações entre o déficit hídrico, a quantidade de frutos e a aplicação de resíduos na superfície do solo, bem como seus efeitos sobre a produtividade da macieira, ainda é pouco documentado. Os objetivos do trabalho foram: avaliar a influência dos períodos do déficit hídrico na composição mineral das folhas e dos frutos e na produção da macieira; avaliar o efeito da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo e da quantidade de frutos na planta sobre a condutância estomática das folhas da macieira.

5.2 Materiais e Métodos

O projeto foi desenvolvido em parceria com a instituição de pesquisa do Canadá (Agriculture and Agri-Food Canada: PARC – Pacific Agri-Food Research Centre) situado no município de Summerland, província de British Columbia, durante a safra de 2006.

O solo da área experimental era desenvolvido a partir de depósitos glaciais-fluviais e comumente utilizados para plantio de árvores frutíferas, localizado no Sul do lago Okanagan (WITTNEBEN, 1986). O solo era arenoso e possuía baixo teor de matéria orgânica, rápida drenagem e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. A análise preliminar à implantação do pomar indicou teores de $7,0 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono e $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ de N total, pH de 7,3 (1:2, solo:água), 155 mg kg^{-1} de K (Kelowna-extrator), $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ e $9,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu e Zn (DTPA-extrator), respectivamente.

A combinação cultivar/porta-enxerto adotada foi 'Golden Delicious'/M9 e polinizado pelo cultivar 'Gala'. O pomar foi estabelecido no ano de 1997, sustentado em arames e podado em líder central sob o espaçamento de 3 m entre linhas e 0,9 m entre plantas, o que caracteriza um sistema de alta densidade de plantio. O manejo do pomar foi semelhante àquele adotado em pomares comerciais (British Columbia Ministry of Agriculture Food and Fisheries, 2002).

A irrigação foi utilizada desde o início da brotação (maio) a outubro (pós-colheita), visando manter a demanda de água pelas plantas. O sistema de irrigação foi o de gotejamento e a taxa de aplicação foi de 4 litros de água por hora em cada gotejador e o tempo variável, de acordo com a demanda de água pelas plantas. A partir

do mês de julho, as irrigações ajustaram-se aos tratamentos de déficit hídrico e que serão posteriormente relatados.

Na adubação, somente N foi utilizado, o qual foi aplicado diretamente à água de irrigação na forma de nitrato de amônio (34N-0P-0K), com aplicações iniciando logo após a floração e totalizando 30 g de N por planta por ano. No manejo histórico da área, 40 t ha⁻¹ de lodo de esgoto municipal (Greater Vancouver Regional District) foram aplicadas ao solo no momento da implantação do pomar (1997) e, reaplicadas no ano de 2001, na quantidade de 23 t ha⁻¹ (base seca).

Os tratamentos foram representados pela combinação dos três períodos de déficit hídrico, aplicação de resíduo de papel na superfície do solo (com e sem) e do ajuste da quantidade de frutos por planta em 50% (5 frutos cm⁻² da área da secção transversal do tronco – ASTT) e 100% (5 frutos cm⁻² da ASTT). O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com seis repetições e com arranjo dos tratamentos em parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas pela combinação das épocas do déficit hídrico e do uso ou não do resíduo de papel na superfície do solo e as subparcelas pela quantidade de frutos.

Para fins de controle de irrigação e déficit hídrico, foram realizadas medições da evapotranspiração (ETP), por meio do atmômetro. Essas medições foram utilizadas posteriormente para ajustar a quantidade de água a ser aplicada. Estipulou-se uma intensidade única de déficit hídrico que foi de 25% da ETP (redução de 75% da quantidade de água em relação à irrigação completa). Foram definidos como períodos de déficit hídrico: 1) fase inicial do desenvolvimento dos frutos (50 a 90 dias após a plena floração - DAPF); 2) fase de máxima evapotranspiração (80 a 110 DAPF); 3) fase imediatamente anterior e pós-colheita (110 a 150 DAPF). Ao término do período de cada déficit hídrico, a irrigação foi reajustada para 100% da ETP.

Os seguintes tratamentos foram aplicados: T1=Controle (sem déficit hídrico e 100% da quantidade de frutos); T2=déficit hídrico 1, sem resíduo de papel na superfície do solo e quantidade de frutos ajustada na subparcela (100% e 50%); T3=déficit hídrico 2, sem resíduo de papel na superfície do solo e quantidade de frutos ajustada (100% e 50%); T4=déficit hídrico 3, sem resíduo de papel na superfície do solo e quantidade de frutos ajustada (100% e 50%); T5=déficit hídrico 1, com resíduo de papel na superfície

do solo e quantidade de frutos ajustada (100% e 50%); T6=déficit hídrico 2, com resíduo de papel na superfície do solo e quantidade de frutos ajustada (100% e 50%); T7= déficit hídrico 3, com resíduo de papel na superfície do solo e quantidade de frutos ajustada (100% e 50%); T8=T1 + resíduo de papel na superfície do solo.

Cada planta possuía quatro gotejadores, sendo dois em cada lado do tronco e distribuídos eqüidistantes na linha de plantio. Quando as parcelas receberam os tratamentos dos déficits hídricos (25% da ETP), três gotejadores foram fechados por meio de uma mangueira com a extremidade dobrada e amarrada (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Representação da distribuição dos gotejadores utilizados na irrigação e no controle do déficit hídrico e visualização da cobertura do solo com resíduos de papel

O primeiro raleio manual de frutos foi realizado em todas as plantas, deixando-se um fruto por cacho floral. No dia anterior ao início de cada déficit hídrico, outro raleio foi realizado para ajustar-se a quantidade de frutos na planta em 100 e 50%. Para fins de ajuste da quantidade, todos os frutos foram contados e o diâmetro do tronco foi medido para a determinação da área da secção transversal do mesmo.

O resíduo de papel utilizado na superfície do solo era composto por 439, 2,4, 0,03, 0,2, 57,0 e 1,0 g kg⁻¹ de C, N, P, K, Ca e Mg, respectivamente e 0,1 e 0,07 mg kg⁻¹ de Zn e Cu, respectivamente. A dose aplicada foi de 3700 kg ha⁻¹, concentrada numa faixa central de 2,0 m da linha de plantio, aplicada em 2005 e reaplicada em 2006.

Após a aplicação, o material foi umedecido para evitar-se a movimentação do mesmo pelo vento.

Em meados de julho, coletaram-se amostras de 30 folhas por parcela para fins de análise química. As folhas foram retiradas da porção central dos ramos de crescimento do ano, em posição próximo à horizontalidade. As amostras foram secadas em estufa com circulação de ar à temperatura de 65 °C até atingirem peso constante. Em seguida foram moídas em moinho de aço inoxidável (A.H. Thomas, Co., Philadelphia). A concentração de N foi determinada usando-se o analisador de combustão (LECO FP-528). 0,5 g da amostra foram incineradas em mufla à temperatura de 525 °C e as cinzas obtidas foram dissolvidas em HCl 1,2 mol L⁻¹, anteriormente à determinação de Ca, Mg, K, Mn, Zn, Fe e Cu por espectrometria de absorção atômica e P por ICP plasma argônio acoplado.

No dia da colheita, 20 frutos por parcela foram coletados e levados ao laboratório, onde foram pesados e lavados com água destilada. Em seguida foram cortados, separando-se duas fatias longitudinais de 1 cm de largura, retiradas em posições opostas no fruto. As amostras foram congeladas e mantidas desta forma para secagem por meio de liofilização. As concentrações de N, P, K, Ca, Mg e B foram determinadas nas amostras de fruto.

A condutância estomática da folha foi medida usando-se o equipamento denominado de porômetro ("steady state porometer", Li-1600, Li-COR). As leituras somente foram realizadas para os tratamentos com déficit hídrico, além do T1 e do T8, no período entre 10 e 11h, em folhas expostas ao sol (três folhas por planta e três repetições) e situadas em posição mediana dos ramos do ano.

Os resultados foram analisados estatisticamente com o uso do SAS, utilizando o procedimento GLM, seguido pelo teste de Duncan ($P \leq 0,05$) para comparação das médias. Devido ao número reduzido de frutos, não foi possível ajustar-se a quantidade para os tratamentos T1 e T8 e por isso, esses tratamentos somente foram mantidos para a análise e discussão dos resultados de condutância estomática.

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Condutância estomática

No presente estudo não houve redução da condutância estomática, quando diferentes quantidades de frutos foram ajustadas às plantas, embora, pesquisas anteriores tivessem relatado o aumento da condutância estomática à medida que a quantidade de frutos na planta diminuiu (WUNSCHÉ; PALMER; GREER, 2000; MPELASOKA; BEHBOUNDIAN; GREEN, 2001). Esse fato pode justificar-se pela época relativamente tardia que ocorreu o ajuste da quantidade de frutos em relação à época do raleio comercial, comumente utilizada nos outros trabalhos experimentais. Nesse estudo, no momento do ajuste da quantidade, os frutos já eram grandes, principalmente quando o ajuste foi realizado no início do período do último déficit hídrico (110 DAPF).

Mpelasoka, Behboundian e Green (2001), comparando duas densidades de frutos na macieira (quantidade comercial e 60% da quantidade comercial), observaram que não houve efeito significativo da quantidade de frutos sobre a condutância estomática medida no início e no final do dia, porém, houve quando a determinação foi realizada próximo ao meio-dia. Entretanto, os autores verificaram que as alterações na condutância estomática foram muito mais dependentes do déficit hídrico do que da quantidade de frutos que a planta possuía.

A condutância estomática não foi significativamente diferente entre os tratamentos T1 e T8 (Figuras 5.2, 5.3 e 5.4). Essa mesma variável foi influenciada de forma interativa pelos períodos de déficit hídrico e pela aplicação de resíduo de papel na superfície do solo. A redução da irrigação para 25% da ETP no período de 50 a 90 DAPF (T2) reduziu a condutância estomática em aproximadamente 40% quando comparado ao tratamento controle (Figura 5.2), indicando que a transpiração da planta foi reduzida em resposta ao déficit hídrico. A diminuição da condutância estomática reduz as perdas de água e, é freqüentemente citada, como um mecanismo pelo qual as plantas se adaptam aos solos secos (DAVIES; ZHANG, 1991), por meio da redução da abertura estomática e, conseqüentemente, da transpiração. Entretanto, o fechamento dos estômatos reduz não apenas as perdas de água por transpiração, mas também, a taxa de assimilação e de produção de matéria seca (ATKINSON et al., 2000).

No entanto, quando o déficit hídrico do período de 50 a 90 DAPF foi combinado com a aplicação do resíduo de papel na superfície do solo, a redução da condutância estomática foi menor, o que pode ser comprovado pelos maiores valores

em T5 se comparados com T2 (Figura 5.2). Isso indica que a aplicação do resíduo de papel na superfície do solo atenuou o efeito do déficit hídrico sobre a condutância estomática das folhas da macieira nessa fase do ciclo da cultura.

Figura 5.2 - Condutância estomática das folhas da macieira em resposta ao déficit hídrico ocorrido no período de 50 a 90 DAPF e à aplicação do resíduo de papel na superfície do solo; *valores representam a média das diferentes épocas de medição, exceto a primeira, e quando seguidos com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$

Quando o déficit hídrico ocorreu no período de 80 a 110 DAPF, aplicação do resíduo de papel na superfície do solo não mais influenciou significativamente a condutância estomática (Figura 5.3). Nessa situação, a condutância estomática foi similar nos tratamentos T6 e T3, indicando que o efeito positivo decorrente da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo, mostrado anteriormente para o déficit do período de 50 a 90 DAPF, não ocorreu. Assim, a condutância estomática foi reduzida, na média, em aproximadamente 55% nos tratamentos T3 e T6 quando comparados ao controle.

A diferente resposta à aplicação do resíduo de papel na superfície do solo entre os períodos do déficit hídrico pode estar relacionada com a maior área foliar e ao maior tamanho dos frutos no período de 80 a 110 DAPF, que podem ter influenciado no aumento da transpiração da planta. Além disso, as maiores temperaturas favoreceram a evaporação da água do solo e por isso, os efeitos positivos da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo não foram suficientes para compensar as elevadas taxas de evapotranspiração que ocorreram nessa fase do ciclo da cultura.

Figura 5.3 - Condutância estomática das folhas da macieira em resposta ao déficit hídrico ocorrido no período de 80 a 110 DAPF e à aplicação do resíduo de papel na superfície do solo; *valores representam a média das diferentes épocas de medição, exceto a primeira, e quando seguidos com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$

O déficit hídrico ocorrido no período de 110 a 150 DAPF não mais influenciou significativamente a condutância estomática (Figura 5.4). Esse fato pode ser atribuído às menores temperaturas que ocorreram nesse período em relação aos anteriores (dados não mostrados) e também ao fato de que, parte das medições, exceto as duas primeiras, foi realizada quando os frutos já haviam sido colhidos.

Figura 5.4 - Condutância estomática das folhas da macieira em resposta ao déficit hídrico ocorrido no período de 110 a 150 DAPF e à aplicação do resíduo de papel na superfície do solo; *valores representam a média das diferentes épocas de medição, exceto a primeira, e quando seguidos com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$

A partir de 123 dias após a plena floração houve uma queda acentuada da condutância estomática em todos os tratamentos, o que coincidiu com a data da colheita dos frutos. Esse comportamento está de acordo com outras pesquisas (TARTACHNYK; BLANKE, 2006), indicando que a remoção dos frutos, importante dreno da planta, causou a redução da transpiração da macieira.

5.3.2 Tamanho e produção de frutos

Não houve nenhuma interação significativa sobre as variáveis analisadas entre os fatores estudados, por isso, somente serão apresentados os efeitos principais para cada um deles.

A massa média dos frutos foi significativamente maior nas plantas com a quantidade de frutos ajustada para 50% quando comparada às plantas com 100% de frutos (Figura 5.5). Os frutos das plantas ajustadas para 50% da quantidade foram aproximadamente 14 g maiores que aqueles provenientes das plantas ajustadas para 100%. Esse efeito deveu-se à menor competição entre os frutos por assimilados e nutrientes quando a quantidade de frutos era menor (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, a quantidade de frutos exerce efeito importante sobre a divisão celular e, conseqüentemente, sobre o número de células do fruto (NAOR, 2006), influenciando também a massa média dos mesmos.

Figura 5.5 - Efeito da quantidade de frutos (50 = 2,5 frutos cm^{-2} da ASTT e 100 = 5,0 frutos cm^{-2} da ASTT) sobre a massa média e a produção de maçãs 'Golden Delicious', ano de 2006; colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$

Wright et al. (2006), comparando o efeito de três intensidades de raleio (3, 6 e 9 frutos cm^{-2} da ASTT) em relação às plantas sem raleio, observaram que a massa de fruto aumentou significativamente à medida que a quantidade de frutos na planta diminuiu. Resultados similares foram obtidos por Wunsche et al. (2005) que avaliaram o efeito de quatro intensidades de raleio de flores para ajuste de 0, 100, 225 e 400 frutos por planta e obtiveram até 35% de redução da massa média dos frutos em função de cada aumento da densidade de frutos na planta.

Embora no presente estudo, a massa média dos frutos foi maior quando a quantidade foi ajustada para 50%, o incremento foi relativamente pequeno (menor que 6%), o que deve estar relacionado à época em que a quantidade de frutos foi ajustada. Ao proceder-se o ajuste, os frutos removidos já eram grandes e a quantidade de energia gasta pela planta para formá-los foi alta. Segundo Naor (2006), a intensidade do aumento da massa média dos frutos está estreitamente relacionada à época do raleio.

A produção também foi influenciada significativamente pela quantidade de frutos na planta (Figura 5.5). As plantas com 50% de frutos produziram aproximadamente 38% a menos em relação àquelas com 100%, indicando que a maior massa média dos frutos não foi suficiente para compensar o decréscimo do rendimento provocado pelo menor número de frutos por planta. Mpelasoka, Behboundian e Green (2001), comparando duas densidades de frutos em macieira (quantidade comercial e 60% da quantidade comercial), também observaram que a massa média dos frutos era maior quando a quantidade de maçãs por planta era menor, porém, verificaram que o rendimento foi menor.

Dessa forma, a estratégia de minimizar-se o efeito do déficit hídrico em macieira por meio da remoção dos frutos em estágio avançado de desenvolvimento, a exemplo do que ocorreu nesse estudo, deve ser usada com cautela, uma vez que diminuiu significativamente o rendimento da cultura.

A aplicação de resíduo de papel na superfície do solo promoveu aumentos significativos na produção e massa média dos frutos (Figura 5.6). Na presença do resíduo de papel na superfície do solo, a produção por planta foi 2,4 kg maior quando

comparada à ausência do mesmo, o que representa um acréscimo no rendimento de aproximadamente $9,0 \text{ t ha}^{-1}$.

Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Neilsen et al. (2003) que avaliaram o efeito de diferentes resíduos aplicados na superfície do solo, inclusive o de papel, e observaram o acréscimo do rendimento e da massa média dos frutos nas parcelas com aplicação de resíduos quando comparadas às parcelas que haviam recebido aplicações periódicas de herbicida na faixa de plantio para controle das plantas invasoras e que o solo permaneceu descoberto.

Figura 5.6 - Efeito da cobertura do solo com resíduo de papel sobre a massa média e a produção de maçãs 'Golden Delicious', ano de 2006; colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$

Os benefícios da cobertura do solo com resíduos estão relacionados com o efeito direto que ela promove na ciclagem dos nutrientes no solo (FORGE et al., 2003), na melhoria das propriedades físicas e umidade do solo (NEILSEN et al., 2002) e no controle de plantas invasoras (BROWN; TWORKOSKI, 2004), favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular.

A massa média dos frutos não foi influenciada significativamente pelos períodos de déficit hídrico (Figura 5.7). No entanto, a produção de frutos foi significativamente maior no déficit hídrico ocorrido no período de 110 a 150 DAPF, se comparado aos demais períodos. Por isso, quando a deficiência hídrica ocorre numa fase em que o rápido crescimento dos frutos já foi cessado (a partir de 110 DAPF), os efeitos negativos sobre a produção são menos evidentes. Isso indica que há a

possibilidade de reduzir-se ou até mesmo eliminar-se a irrigação nessa época, significando uma economia de água. No entanto, é necessária a continuidade da avaliação em outros anos, para obtenção de resultados mais conclusivos.

Figura 5.7 - Efeito de períodos do déficit hídrico sobre a massa média e a produção de maçãs 'Golden Delicious', ano de 2006; colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$

5.3.3 Concentrações dos nutrientes nos frutos

Não houve efeito interativo entre os fatores estudados sobre as concentrações dos nutrientes na polpa fresca de maçãs. Os efeitos dos períodos do déficit hídrico, da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo e da quantidade de frutos foram variáveis, dependendo do nutriente considerado (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Concentrações de Ca, Mg, K, P e B na polpa de maçãs em função dos períodos do déficit hídrico, da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo e da quantidade de frutos por planta, cultivar 'Golden Delicious', ano de 2006

Fator	N	Ca	Mg	K	P	B
Período do déficit	-----g kg ⁻¹ (massa úmida) -----					
50 a 90 DAPF	43,4 a*	3,08 a	4,62 a	102,3 b	9,33 a	0,176 b
80 a 110 DAPF	40,2 b	2,69 b	4,48 b	108,2 a	8,54 b	0,213 a
110 a 150 DAPF	43,4 a	2,74 b	4,51 b	105,4 ab	8,55 b	0,180 b
Cobertura do solo						
Com	43,1 a	2,90 a	4,54 a	107,6 a	9,12 a	0,205 a
Sem	41,6 a	2,78 a	4,53 a	103,0 b	8,49 b	0,174 b
Quantidade de frutos						
100%	42,6 a	2,68 b	4,45 b	103,0 b	8,73 a	0,162 b
50%	42,1 a	3,00 a	4,61 a	107,6 a	8,89 a	0,217 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, comparando tratamentos em cada fator, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

As concentrações de Ca Mg e P foram menores para os déficits hídricos que ocorreram nos períodos de 80 a 110 e 110 a 150 DAPF quando comparadas às do período de 50 a 90 DAPF (Tabela 5.1). As maiores concentrações de Ca e Mg para o déficit hídrico de 50 a 90 DAPF podem estar relacionadas, em parte, à menor concentração de K observada nesse período, promovendo a absorção compensatória de Ca e Mg, de modo que a soma da absorção de cátions fosse aproximadamente constante (NEILSEN;NEILSEN, 2003).

A aplicação de resíduo de papel na superfície do solo promoveu aumento significativo nas concentrações de K, P e B nos frutos (Tabela 5.1), possivelmente por ter aumentado a capacidade de retenção de água no solo (NEILSEN et al., 2002). Esses nutrientes chegam até a superfície das raízes, principalmente via difusão e a quantidade de água no solo exerce influencia importante sobre a intensidade desse mecanismo (HAVLIN et al, 2005).

O aumento da porosidade, retenção de água, estabilidade da temperatura e da atividade biológica do solo que a aplicação dos resíduos na superfície do solo promove (NEILSEN et al., 2002; NEILSEN et al., 2003), também pode ter favorecido o desenvolvimento do sistema radicular, a disponibilidade e a absorção dos nutrientes pela macieira.

Neilsen et al. (2003) obtiveram maiores concentrações foliares de K nas parcelas onde o solo foi coberto com resíduos em relação às que foram mantidas descobertas por meio de aplicações de herbicida e atribuíram o fato às melhorias que a aplicação dos resíduos na superfície do solo promoveu sobre as propriedades físicas do solo e às altas concentrações de K nos resíduos utilizados. No presente trabalho, o aumento da concentração de K nos frutos, possivelmente foi devido às melhorias que a aplicação do resíduo de papel na superfície do solo promoveu sobre as propriedades do solo, uma vez que a concentração de K no resíduo utilizado era relativamente baixa (0,2 g kg⁻¹).

Para aqueles nutrientes que são supridos, principalmente via fluxo de massa, como é o caso do N, Ca, Mg, a aplicação do resíduo de papel na superfície do solo não promoveu modificações significativas em suas concentrações nos frutos. Embora, o resíduo utilizado possuía alta relação C:N (183), a fertirrigação foi eficiente em suprir o

N para a macieira e compensou a quantidade desse nutriente que foi imobilizada pelos microorganismos do solo.

Em relação à quantidade de frutos, exceto para o N e o P que se mantiveram inalterados, para os demais nutrientes, a concentração nos frutos foi maior nas plantas com menor quantidade de frutos, provavelmente, decorrente da menor competição entre os mesmos. Embora haja uma tendência das plantas com maior quantidade de frutos possuírem maior concentração de Ca nos mesmos (IUCHI; NAVA; IUCHI, 2001), isso não se confirmou no presente trabalho, o que possivelmente deveu-se às épocas em que as quantidades foram ajustadas, sempre após 40 dias da plena floração, período em que ocorre a maior parte da absorção do Ca. O primeiro ajuste da quantidade de frutos nesse trabalho somente foi realizado 53 dias após a plena floração.

5.3.4 Concentrações dos nutrientes nas folhas

Da mesma forma que para as concentrações dos nutrientes nos frutos, não houve interação significativa entre os fatores estudados para as concentrações dos nutrientes nas folhas (Tabela 5.2). As concentrações foliares de N, Ca e Mg foram menores quando o déficit hídrico ocorreu no período de 80 a 110 DAPF e as menores concentrações de P e K foram obtidas para o déficit hídrico do período de 50 a 90 DAPF.

Tabela 5.2 - Concentrações de N, Ca, Mg, K e P nas folhas da macieira em função dos períodos do déficit hídrico, da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo e da quantidade de frutos por planta, cultivar 'Golden Delicious', ano de 2006

Fator	N	Ca	Mg	K	P
Período do déficit	-----g kg ⁻¹ (massa seca) -----				
50 a 90 DAPF	21,1 b*	16,0 a	4,03 a	9,6 b	1,20 b
80 a 110 DAPF	20,5 c	14,7 b	3,38 c	11,7 a	1,30 a
110 a 150 DAPF	21,8 a	15,8 a	3,70 b	11,0 a	1,28 a
Cobertura do solo					
Com	21,1 a	15,9 a	3,57 a	11,6 a	1,33 a
Sem	21,2 a	15,0 b	3,83 a	9,90 b	1,18 b
Quantidade de frutos					
100%	21,4 a	15,1 b	3,74 a	10,9 a	1,28 a
50%	21,0 a	15,9 a	3,67 a	10,1 a	1,24 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, comparando tratamentos em cada fator, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p \leq 0,05$.

A aplicação do resíduo de papel na superfície do solo não influenciou as concentrações foliares de N e Mg (Tabela 5.2). No entanto, as concentrações de Ca, K e P nas folhas foram superiores nas parcelas de solo coberto com resíduo em relação às parcelas de solo descoberto. O aumento das concentrações de Ca pode ser atribuído, em parte, à alta concentração do Ca no resíduo de papel (54 g kg^{-1}). Além disso, devido ao fato da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo ter aumentado a condutância estomática (Figura 5.2) e, conseqüentemente, a transpiração, isso pode ter favorecido a absorção do Ca via fluxo transpiratório.

As concentrações de P e K no resíduo de papel eram baixas, e, por isso, os efeitos positivos sobre esses nutrientes devem estar associados às melhorias que a aplicação do resíduo de papel na superfície do solo promoveu sobre as propriedades do solo e, que favoreceram a disponibilidade e absorção dos mesmos pela macieira.

Com exceção do Ca, para os demais macronutrientes não houve efeito significativo da quantidade de frutos sobre as concentrações foliares dos mesmos (Tabela 5.2). Embora, os frutos representem forte dreno de foto assimilados e nutrientes, particularmente para o K, que é altamente móvel nos vasos do floema (TAIZ; ZEIGER, 2004), a concentração do mesmo não foi influenciada pelo número de frutos na planta, possivelmente devido ao tamanho grande dos frutos na época do estabelecimento das quantidades.

O efeito dos fatores estudados sobre as concentrações foliares dos micronutrientes foi variável, dependendo do nutriente envolvido (Tabela 5.3). As maiores concentrações de B e Zn foram observadas quando o déficit hídrico ocorreu entre 80 a 110 DAPF. Tanto as concentrações de B como de Zn ficaram abaixo do limite inferior da faixa de suficiência considerada normal, que segundo Neilsen e Neilsen (2003) são de 20 e 15 mg kg^{-1} para B e Zn, respectivamente. As concentrações foliares de B e de Cu foram aumentadas significativamente pela aplicação do resíduo de papel na superfície do solo, porém, mesmo assim o nível crítico de B não foi atingido. Nenhum dos micronutrientes teve sua concentração foliar alterada pela quantidade de frutos na planta.

Tabela 5.3 - Concentrações de B, Fe, Zn, Mn e Cu nas folhas da macieira em função dos períodos do déficit hídrico, da aplicação do resíduo de papel na superfície do solo e da quantidade de frutos por planta, cultivar 'Golden Delicious', ano de 2006

Fator	B	Fe	Zn	Mn	Cu
Período do déficit	-----mg kg ⁻¹ (massa seca) -----				
50 a 90 DAPF	18,3 b*	47,4 a	9,17 b	36,9 a	4,88 b
80 a 110 DAPF	20,6 a	47,1 a	9,92 a	33,5 b	4,86 b
110 a 150 DAPF	18,7 b	49,3 a	9,32 b	36,3 a	5,60 a
Cobertura do solo					
Com	19,7 a	47,7 a	9,67 a	34,3 b	5,27 a
Sem	18,6 b	48,2 a	9,44 a	36,8 a	4,96 b
Quantidade de frutos					
100%	19,0 a	47,9 a	9,51 a	35,0 a	5,09 a
50%	19,4 a	48,0 a	9,62 a	36,1 a	5,13 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, comparando tratamentos em cada fator, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, $p < 0,05$.

5.4 Conclusões

A condutância estomática não foi influenciada pela quantidade de frutos na planta e foi reduzida pelos déficits hídricos que ocorreram nos períodos de 50 a 90 e 80 a 110 DAPF, porém, manteve-se inalterada para o período de 110 a 150 DAPF.

A aplicação de resíduo de papel na superfície do solo somente atenuou a redução da condutância estomática quando o déficit hídrico ocorreu no período de 50 a 90 DAPF.

A menor quantidade de frutos na planta refletiu em maior massa média dos mesmos, a qual não foi suficiente para compensar a perda de produção que o menor número de frutos por planta causou.

A produção e a massa média dos frutos foram significativamente maiores na presença do resíduo de papel na superfície do solo quando comparadas à ausência do mesmo.

A massa média dos frutos não foi alterada pelos períodos do déficit hídrico e a produção foi maior nas plantas submetidas ao déficit hídrico do período de 110 a 150 DAPF em relação aos demais.

As concentrações dos nutrientes nos frutos variaram em resposta aos períodos de déficit hídrico e, em geral, foram maiores quando a quantidade de frutos era menor.

As concentrações de K, P e B foram aumentadas pela aplicação de resíduo de papel na superfície do solo, tanto nas folhas como nos frutos.

A quantidade de frutos foi o fator que menos influenciou as concentrações dos nutrientes nas folhas.

Referências

ATKINSON, C.J.; POLICARPO, M; WEBSTER A.D.; KINGSWELL, G. Drought tolerance of clonal Malus determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. **Tree Physiology**, Victoria, v. 20, p.5557-563, 2000.

BEHOUNDAIN, M.H.; MILLS, T.M. Deficit irrigation in deciduous orchards. **Horticultural Reviews**, New York, v.21, p.105-131, 1997.

BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND FISHERIES. **Tree fruit production guide for commercial growers**. Interior Districts. 2002-2003 Ed. Victoria: BCMAFF, 2002. 487 p.

BROWN, M.W.; TWORKOSKI, T. Pest management benefits of compost mulch in apple orchards. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, p. 465–472, 2004.

COHEN, S.; NEILSEN, D.; SMITH, S.; NEALE, T.; TAYLOR, B.; BARTON, M.; MERRITT, W.; ALILA, Y.; SHEPHERD, P.; MCNEILL, R.; TANSEY, J.; CARMICHAEL, J.; LANGSDALE, S. Learning with local help: expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan region, British Columbia, Canada. **Climatic Change**, Dordrecht, v.75, p.331-358, 2006.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Roots signal and the regulation of the growth and development of plants in drying soil. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v.42, p.55-76, 1991.

FORGE, T.A.; NEILSEN, G.; HOGUE, E.; NEILSEN, D. Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.22, p.34-54, 2003.

HARTLEY, M.J.; REID, J.B.; RAHMAN, A.; SPRINGETT, J.A. Effect of organic mulches and a residual herbicide on soil bioactivity in apple orchard. N. Z. J. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Wellington, v.24, p.183-190, 1996.

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

IUCHI, V. L.; NAVA, G.; IUCHI, T. **Distúrbios fisiológicos e desequilíbrios nutricionais em macieira**. Florianópolis: Epagri/Jica, 2001. 74 p.

MERWIN, L.A.; STILES, W.C.; VANES, H.M. Orchard ground cover management impact on soil physical properties. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, p.216-222, 1994.

MPELASOKA, B.S.; BEHOUNDAIN, M.H.; GREEN, S.R. Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and crop load. **Irrigation Science**, New York, v. 20, p.107-113, 2001.

NAOR A.; KLEIN, I.; HUPERT, H.; GRINBLAT, Y.; PERES, M.; KAUFMAN, A. water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, p.189-193, 1999.

NAOR, A. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. **Horticultural Reviews**, New York, v.32, p. 111-165, 2006.

NEILSEN, G.H.; NEILSEN, D. Nutritional requirements of apple. In: FERREE, D.C.; WARRINGTON, J.J. **Apples, Botany, production and uses**: CABI PUBLISHING: Cambridge, USA, 2003. p. 267-302.

NEILSEN, G.H. HOGUE, E.J.; FORGE, T.; NEILSEN, D. Surface application of mulches and biosolids affect orchard soil properties after 7 years. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.83, p.131-137, 2002.

NEILSEN, G.H. HOGUE, E.J.; FORGE, T.; NEILSEN, D. Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. **Hortscience**, Alexandria, v.38, p.41-45, 2003.

TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de R.E. Santarem. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TARTACHNYK, I.I.; BLANKE, M.M. Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves. **New Phytologist**, Cambridge, v.164, p.441-450, 2006.

VOLZ, R.K.; FERGUSON, I.B; BOWEN, J.H; WATKINS, C.B. Crop load effects on fruit mineral-nutrition, maturity, fruiting and tree growth of cox orange pippin apple. **Journal of Horticultural Science**, London, v.68, p.127-137, 1993.

WITTNEBEN, U. **Soils of the Okanagan and Similkameen valleys**. Ministry of the Environment. Victoria, **1986**. (Technical report, 10).

WRIGHT, A.H. EMBREE, C.G.; NICHOLS, D.S.; PRANGE, R.K.; HARRISON, P.A.; DELONG, J.M. Fruit mass, colour and yield of Honeycrisp (TM) apples are influenced by manually adjusted fruit population and tree form. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.81, p.397-401, 2006.

WUNSCHÉ, J.N.; GREER, D.H.; LAING, W.A.; PALMER J.W. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. **Tree Physiology**, Victoria, v.25, p.1253-1263, 2005.

WUNSCHÉ, J.N; PALMER, J.W.; GREER D.H. Effects of crop load on fruiting and gas exchange characteristics of "Braeburn"/M26 apple trees at full canopy. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.125, p.93-99, 2000.

Considerações Finais

Apesar dos solos de São Joaquim possuírem teores altos de matéria orgânica, a macieira respondeu ao N. Atribuiu-se esse comportamento, a superficialidade da camada de solo explorada pelas raízes e a grande proporção de pedras e cascalho nesses solos. Somam-se a isso, as condições climáticas que, possivelmente, se aproximam mais às de outras regiões de clima temperado de outros países do que propriamente das demais regiões produtoras de maçãs no Brasil.

A adição de K ao solo, nutriente mais extraído pela macieira, aumentou a produção e exerceu efeitos significativos sobre a maioria dos atributos qualitativos avaliados. A falta do suprimento desse nutriente causou redução do K trocável do solo para teores inferiores aos exigidos pela cultura.

Embora, o N e o K tenham aumentado o rendimento da macieira, recomenda-se estudos de longo prazo para avaliar as possíveis inter-relações entre as adubações nitrogenada e potássica e a ocorrência de distúrbios fisiológicos, considerando os efeitos negativos que o N e o K exerceram sobre a nutrição da cultura em relação ao Ca. O excesso de N também foi prejudicial para outros atributos qualitativos avaliados. Por isso, no manejo da adubação nitrogenada e potássica deve-se considerar, além do rendimento, as alterações que esses nutrientes promovem sobre a qualidade dos frutos.

A diagnose foliar para Ca mostrou-se pouco eficiente em avaliar o equilíbrio nutricional dos frutos. Uma vez que esse nutriente é pouco móvel no floema, nem sempre as concentrações normais de Ca nas folhas refletiram concentrações ideais desse nutriente nos frutos. Por isso, futuras pesquisas com diagnose nutricional de frutos podem auxiliar no manejo nutricional do Ca na macieira.

A macieira adaptou-se à condição de estresse hídrico, por meio da redução da condutância estomática. Isso é desejável no que diz respeito à redução das perdas de água por transpiração. Por outro lado, reduz a taxa de assimilação de carboidratos pela planta e, conseqüentemente o rendimento. A utilização de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo pode melhorar o balanço hídrico da macieira, além de melhorar as propriedades do solo relacionadas ao desenvolvimento radicular e disponibilidade dos nutrientes. É indispensável a realização de pesquisas envolvendo a aplicação de resíduos orgânicos na superfície de solos cultivados com macieira.