

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ASPECTOS METABÓLICOS E NUTRICIONAIS DA PLANTA E
PRODUTIVIDADE DE MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES
POPULACIONAIS

Marcos Donizeti Revoredo
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ASPECTOS METABÓLICOS E NUTRICIONAIS DA PLANTA E
PRODUTIVIDADE DE MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES
POPULACIONAIS

Marcos Donizeti Revoredo

Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Co-Orientador: Prof. Dr. Domingos Fornasieri Filho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2008

Revoredo, Marcos Donizeti
R454a Aspectos metabólicos e nutricionais da planta e produtividade do
milho em diferentes densidades populacionais / Marcos Donizeti
Revoredo. – Jaboticabal, 2008
xiii, 88 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta
Banca examinadora: Aildson Pereira Duarte, Paulo Roberto de
Camargo e Castro, Leandro Borges Lemos, Renato de Mello Prado
Bibliografia

1. Densidade de plantas. 2. Metabolismo. 3. Milho. I. Título. II.
Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.81.033

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Marcos Donizeti Revoredo, nascido em Jaboticabal – SP, em 11 de outubro de 1979. Graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP, em 24 de janeiro de 2004. Foi bolsista de iniciação científica do CNPq de julho de 2000 a agosto de 2002, e da FAPESP de abril a dezembro de 2003, e ainda, participou de projetos de extensão universitária. Concluiu o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, em julho de 2005, sendo bolsista da CAPES. Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, em agosto de 2005, como bolsista da FAPESP. Publicou 6 trabalhos na íntegra em periódicos dotados de corpo editorial (2 editados no país e 4 editados no exterior). Publicou 40 trabalhos em congressos e reuniões científicas (35 em nível nacional e 5 em nível internacional). Editou e publicou 1 livro. Participou do Grupo de Pesquisa "Uso de Resíduos na Agricultura". Realizou estágio docência nas disciplinas de Química Analítica e Cultura de Cereais no curso de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fertilidade do Solo, Nutrição e Adubação, Química e Bioquímica do solo e de plantas, e Fisiologia de plantas cultivadas, atuando principalmente nos seguintes temas: aproveitamento de resíduos urbanos e agrícolas, nutrição, metais pesados, metabolismo de plantas, tomate, milho e sorgo.

A Deus,

A minha esposa

Aos meus pais Donizeti e Maria Aparecida,

Ao meu irmão Daniel,

*Aos avós Anna e Antonio, Odette (in memorian)
e Paulo (in memorian)*

*COM MUITO AMOR,
DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela concessão de bolsa de estudo e pelo auxílio financeiro.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, e ao Departamento de Tecnologia pela oportunidade de aprimoramento intelectual.

Ao Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pelo exemplo de profissionalismo, pela amizade, pela grande contribuição na minha formação profissional e pessoal, pela oportunidade e orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Domingos Fornasieri Filho, por ter participado de meu crescimento intelectual, pela acessibilidade, disponibilidade, confiança e incentivo.

Ao Técnico Agrícola Marcelo Scatolin e demais funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP, pela colaboração na instalação, condução e coleta de material experimental.

Aos professores das bancas examinadoras de qualificação e defesa de tese pela grande contribuição na minha formação profissional e pessoal, e pelas sugestões para a redação final deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de bioquímica e química de plantas: César, Cláudia, Joani, Mariângela, Rafaela, e todos que passaram por lá, pela amizade, pela companhia e pelo auxílio prestado.

À todos os colegas do curso, pela troca de experiência, e pelos momentos agradáveis de convivência.

À minha esposa e aos meus pais que sempre acreditaram neste meu sonho e apoiaram de todas as formas possíveis para esta realização.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
Capítulo 1. Considerações Gerais.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Revisão de literatura	2
1.2.1. Importância econômica	2
1.2.2. Componentes da produção	2
1.2.3. Relação entre fonte e dreno de fotoassimilados na planta.....	5
1.3. Referências bibliográficas	13
Capítulo 2. Densidade populacional, metabolismo e a produção de grãos de plantas de milho	21
2.1. Introdução.....	23
2.2. Material e Métodos	24
2.3. Resultados e Discussão	29
2.4. Conclusões	40
2.5. Referências bibliográficas.....	40
Capítulo 3. Influência do incremento populacional na partição de biomassa e de nutrientes em plantas de milho.....	45
3.1. Introdução.....	47
3.2. Material e Métodos	48
3.3. Resultados e Discussão	50
3.4. Conclusões	60
3.5. Referências bibliográficas.....	60
Capítulo 4. Características agronômicas e exportação de nutrientes em plantas de milho submetidas a diferentes densidades populacionais.....	65
4.1. Introdução.....	66
4.2. Material e Métodos	68
4.3. Resultados e Discussão	70
4.4. Conclusões	77
4.5. Referências bibliográficas.....	78
Capítulo 5. Considerações Finais.....	81
APÊNDICE	83

ASPECTOS METABÓLICOS E NUTRICIONAIS DA PLANTA E PRODUTIVIDADE DE MILHO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

RESUMO – Com o objetivo de avaliar o efeito do aumento da densidade populacional sobre o metabolismo de C e N, a remobilização e exportação dos nutrientes e as características agronômicas das plantas de milho, conduziu-se um experimento nas condições de campo em Jaboticabal-SP (48°15'18"W e 21°15'22"S), na safra 2005/2006. Os tratamentos se basearam em cinco densidades populacionais do híbrido AG 9010 (30, 45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha), com quatro repetições. A adubação de semeadura foi realizada com 320 kg ha⁻¹ da fórmula 05-15-10 e, em cobertura foram aplicados 134 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio. As avaliações foram realizadas nos estádios de pendoamento (VT) e de grão pastoso (R4), e na colheita final de grãos. O acúmulo de massa seca, dos metabólitos e as atividades enzimáticas do metabolismo de C e N (em R4) nos colmos, folhas e grãos por planta de milho diminuíram em função do aumento da densidade populacional, exceto a invertase solúvel nos grãos e sacarose sintase na folha. O estudo do metabolismo das plantas em condições de campo assemelhou-se aos de cultivo de grãos *in vitro*, quanto aos aminoácidos livres e a atividade da sacarose sintase. A elevação da densidade de plantas promoveu um maior redirecionamento de fotoassimilados para os grãos, uma redução do acúmulo dos macro e micronutrientes e da eficiência de remobilização de N e K, da parte vegetativa para os grãos, e aumento na eficiência do uso dos nutrientes N, P e K. O incremento na densidade populacional aumentou a altura das plantas e inserção da espiga, diminuiu o número de espigas por planta, o número de grãos por espiga, da massa de mil grãos e da massa de grãos por espiga. A produtividade de grãos e a exportação dos nutrientes aumentaram com o aumento da densidade populacional.

Palavras-chave: *Zea mays* L, características agronômicas, carboidratos, enzimas, nitrogênio, remobilização.

METABOLIC AND NUTRITIONAL PLANT ASPECTS AND CORN YIELD ON DIFFERENT POPULATION DENSITIES

ABSTRACT – With the objective of evaluating the effect of the population density increase on the C and N metabolism, the nutrients remobilization and exportation and the agronomic characteristics of corn plants, a field experiment was carried out, at Jaboticabal-SP (48°15'18"W e 21°15'22"S), in the agricultural year of 2005/2006. The plots were represented by five population densities of the hybrid AG 9010 (30, 45, 60, 75 and 90 thousand plants per hectare), with four replications. Sowing fertilization was performed with 320 kg ha⁻¹ of the formula 05-15-10 and side dressing with 134 kg ha⁻¹ of N, by the form of ammonium sulfate. The variables were measured on the stages of tassel (VT) and pasty grain (R4), and final grain harvest. The dry mass storage of the metabolites and enzymatic activities of C and N metabolism (in R4) in the stalks, leaves and corn plant grains decreased in function of the population density increase, except for the soluble invertase in the grains and sucrose syntax in the leaves. In relation to free aminoacids and sucrose syntax activity, the study of plant metabolism on field conditions was very similar to the studies of grains *in vitro*. The plant density increase promoted a bigger redirection of assimilates for the grains, reduction of the macro and micronutrients storage and of the N and K remobilization efficiency, from the vegetative parts to the grains, and increased the use efficiency of N, P and K nutrients. The enhance of the population density raised the plant height and insertion of the first ear, decreased the number of ears per plant, number of grains per ear, mass of a thousand grains and grain mass per ear. Grain yield and nutrient exportation rose with the population density increase.

Keywords: *Zea mays L.*, agronomic characteristics, carbohydrates, enzymes, nitrogen, remobilization.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Introdução

A densidade de semeadura merece atenção especial no rendimento de uma lavoura de milho, pois, diferentemente de outras culturas com grande capacidade de perfilhamento, o milho é uma gramínea muito sensível à variação no estande (FORNASIERI FILHO, 2007).

A elevação da densidade de semeadura com a redução do espaçamento entre as linhas na cultura do milho tem sido amplamente estudada no Brasil, especialmente com relação à densidade ótima e melhor arranjo de plantas para uma determinada região (NOVAIS, 1970; PEREIRA, 1991; ALMEIDA et al., 2000), cultivar (NOVAIS, 1970; SANGOI et al., 2000), níveis e parcelamento de fertilizantes (AMARAL FILHO et al, 2005) alterações na morfologia das plantas (SANGOI et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; SANGOI et al., 2002), componentes de produção (PEREIRA, 1991; MOLIN, 2000; SHEEREN et al., 2004) e produtividade em cultivos adensados. Entretanto, existe uma carência de informações quanto às alterações que o adensamento pode causar no metabolismo das plantas e que afetam diretamente a produtividade da cultura. O metabolismo compreende os mecanismos fisiológicos que definem o número e tamanho das espigas, o número de grãos por espiga e o peso médio dos grãos, que são os componentes da produção de uma planta individual e que, aliado ao número de plantas por unidade de área, resultam na produtividade final de grãos. O estudo deste aspecto é de fundamental importância para se compreender o funcionamento das plantas em distintas situações, para se detectar os eventos fisiológicos que são favorecidos e os que são limitantes em cada caso. Tais informações são indispensáveis para que se possa planejar, de maneira racional, a implantação e o manejo da cultura ou, se for o caso, direcionar melhoramento genético para se atingir a máxima eficiência e lucratividade da cultura.

Dentro desse contexto, idealizou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar a influência do aumento da densidade populacional sobre o metabolismo nitrogenado e

de carboidratos, no acúmulo e partição dos nutrientes minerais na planta, e na produtividade de grãos de milho.

1.2. Revisão de Literatura

1.2.1. Importância econômica

O milho, um dos principais e mais tradicionais cereais cultivados em todo o Brasil, ocupa posição significativa quanto ao valor da produção agropecuária, com o Brasil constituindo-se no terceiro maior produtor mundial, depois dos Estados Unidos da América e da China, e o primeiro do Mercosul (CONAB, 2008; USDA, 2008).

O milho é cultivado na maior parte do território nacional, no entanto, a distribuição e adoção de elevada tecnologia se concentram particularmente nos Estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Santa Catarina, que apresentam as maiores médias de produtividade. A produção total está estimada em 53,4 milhões de toneladas para o presente ano agrícola (2007/2008), superior em 2 milhões (3,8 %) à da safra 2006/07. Desse total, 38 milhões (71,2%) são da 1ª safra e o restante 15,4 milhões (28,8%), são da 2ª safra (CONAB, 2008).

O milho sempre foi destinado no mundo principalmente às atividades de criação de aves e suínos. Entretanto, nos últimos anos, com a elevação dos preços do petróleo e a necessidade de utilização de combustíveis menos poluentes têm incentivado a produção de biocombustíveis (etanol), em especial nos EUA, a partir do milho em grãos, fazendo com que o mercado internacional desta “commodity” ficasse valorizado, levando os produtores a investirem em melhores tecnologias visando ao aumento de produtividade (WOHLENBERG, 2006).

1.2.2. Componentes da produção

Levando em conta que o Brasil vem dispondo de sementes com boa qualidade fitossanitária e bons atributos genéticos, bem como ótimas condições de radiação para

o processo fotossintético, considera-se que a baixa produtividade se deva ao manejo da cultura não otimizado para nossas condições edafo-climáticas (FORNASIERI FILHO, 2007). A otimização das condições de cultivo envolve a utilização de cultivares adequadas, o fornecimento de água, de nutrientes e de radiação, que devem ser convenientemente otimizados para possibilitar a maximização da produtividade sem ocasionar prejuízos econômicos para o agricultor nem causar problemas ecológicos (SMICIKLAS & BELOW, 1990). Entretanto, para se direcionar o desenvolvimento de genótipos e manejo apropriados, deve-se dispor do conhecimento dos componentes da produção e dos eventos fisiológicos que os governam.

Segundo FORNASIERI FILHO (2007) a produtividade é função de três componentes da produção: número de grãos por área, número de grãos por espiga e massa seca unitária do grão (Figura 1). Desses, conforme o pesquisador, o número de espigas por área é o principal componente e está diretamente relacionado com a população de plantas finais.

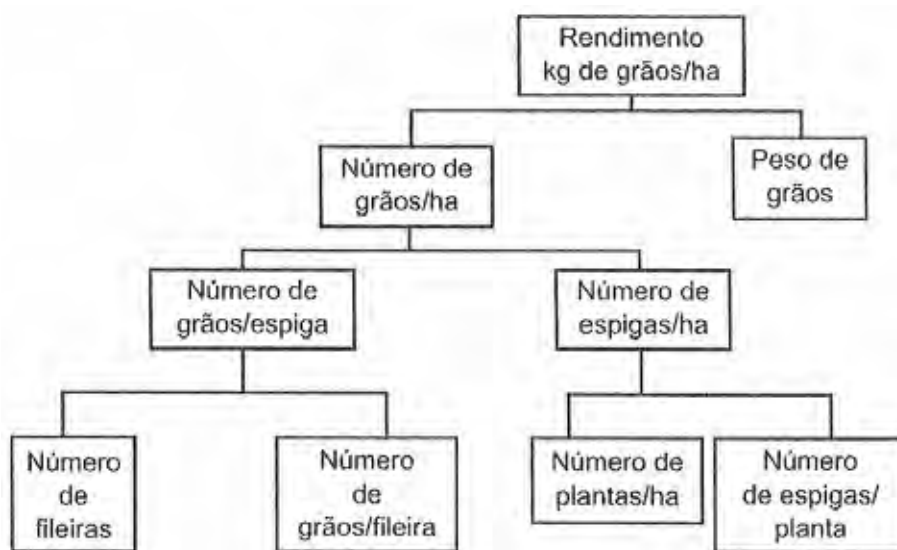


Figura 1 – Componentes da produção na cultura do milho.

O aumento populacional e o arranjo das plantas podem contribuir para a correta exploração do ambiente e do genótipo, com conseqüências no aumento da produtividade de grãos e do teor de proteína (AMARAL FILHO et al., 2005). O arranjo

de plantas pode ser manipulado basicamente por meio de alterações na densidade de plantas e no espaçamento entre as linhas. A densidade de plantas é uma prática de estabelecimento da cultura que tem a maior interferência na produtividade do milho, pois pequenas alterações na população podem afetar significativamente o rendimento de grãos (SANGOI & SILVA, 2006). Essa resposta ocorre porque o milho não possui um mecanismo de compensação de espaços tão eficiente quanto às outras Poaceas, pois raramente perfilha, possui baixa prolificidade e limitada flexibilidade de expansão foliar (ANDRADE et al., 1999).

O espaçamento entre as linhas de semeadura e o número de plantas por metro linear, têm sido discutidos com maior freqüência pela melhor adaptação da cultura ao ambiente decorrente das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais de milho (menor altura de plantas e de inserção das espigas, menor angulação das folhas, e menor índice de área foliar), como forma de maximizar a produção de grãos pela otimização do uso de fatores de produção como água, luz e nutrientes disponíveis num agroecossistema (PALHARES, 2003). E ainda, distribuição mais uniforme das raízes e redução da temperatura do solo (SHARRAT & McWILLIAMS, 2005).

O milho é a gramínea mais sensível à variação na densidade de plantas. Para cada sistema de produção, existe uma população que maximiza o rendimento de grãos (CRUZ et al., 2007). A população ideal para maximizar a produtividade de grãos de milho varia de 30 a 90 mil plantas por ha, dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo da cultivar, época de semeadura e espaçamento entre linhas (FORNASIERI FILHO, 2007). Vários pesquisadores consideram o próprio genótipo como principal determinante da densidade de plantas (SILVA et al., 1999).

Na literatura é possível de se encontrar diversas modificações nas características agronômicas das plantas de milho submetidas a diferentes densidades populacionais. AMARAL FILHO et al. (2005), por exemplo, estudando espaçamentos, densidades e adubações nitrogenadas na cultura de milho, verificaram aumento da massa de grãos, produtividade e teor de proteína com o aumento populacional das plantas de milho, entretanto, obtiveram redução do número de grãos por espiga.

SCHEEREN et al. (2004) estudando arranjos populacionais para o híbrido AG 9010, verificaram que para a altura de plantas e inserção de espigas, houve tendência de aumento com o incremento da densidade populacional. Isso ocorre porque, devido à maior competitividade das plantas por luz, ocasiona um incremento na altura das plantas. E ainda, não observaram plantas acamadas e/ou quebradas na área experimental. Para os componentes da produção de grãos da cultura do milho, o aumento da densidade populacional, promoveu aumentos no número de espigas por hectare e no rendimento de grãos. O contrário ocorreu para a massa de grãos por espiga, que nas maiores densidades populacionais foram menores. Esses resultados confirmam os encontrados por diversos autores (COORS & MARDONES, 1989; CARNEIRO & GERAGE, 1991; FORNASIERI FILHO, 1992); similarmente aos resultados obtidos, esses autores relatam que o maior tamanho da espiga em densidades menores normalmente não é suficiente para compensar a produtividade obtida em cultivos mais adensados.

Para TSAI (1982), no milho, a eficiência da distribuição de fotoassimilados provoca aumento considerável na produção. Em sistemas de produção de milho tropical, a produção de grãos é menor do que aquela obtida em ambientes temperados devido à ineficiente partição de fotoassimilados.

Embora seja evidente que o aumento da densidade populacional afeta a produção de grãos, não está clara a forma com a qual o metabolismo da planta reage à diminuição da fonte de fotoassimilados ou limitação do tamanho do dreno (TOLLENAAR et al., 1992). Há, por isso, a necessidade de mais informações sobre a maneira de redistribuição de fotoassimilados (MATTER et al., 2004; TOLLENAAR et al., 2000) e de nutrientes em plantas de milho.

1.2.3. Relação entre fonte e dreno de fotoassimilados na planta

A planta de milho possui elevado potencial produtivo e acentuada habilidade fisiológica na conversão de carbono mineral em compostos orgânicos, particularmente carboidratos. A eficiente conversão da energia radiante em matéria seca deve-se, em

parte, ao processo fotossintético tipo “C₄”, no qual o gás carbônico é concentrado nas células da bainha vascular das folhas (fonte), e os carboidratos produzidos são translocados para locais onde serão estocados ou metabolizados (dreno) (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI FILHO, 2007).

Durante a fase de crescimento vegetativo, o transporte das substâncias sintetizadas nas folhas, se dá na direção dos órgãos de utilização, identificados pela intensa atividade metabólica, como os meristemas, e que são designados drenos. Ao atingir o estágio reprodutivo, a planta redireciona o fluxo de fotoassimilados, que passa a priorizar as novas estruturas em desenvolvimento (espiga) e, na seqüência, os órgãos de armazenamento (grãos). No milho, o processo mais intenso de consumo e acumulação dos fotoassimilados se concentra nos grãos em rápido crescimento (MAGALHÃES, 1995).

A atividade das fontes (folhas), durante o período de desenvolvimento vegetativo, além de armazenar os fotoassimilados, também produz material de reserva, que é acumulado temporariamente nas folhas e remobilizado posteriormente para as espigas e os grãos durante a fase reprodutiva (MAGALHÃES, 1995).

As relações fonte/dreno nas plantas se alteram continuamente durante o ciclo. As demandas metabólicas dos diferentes órgãos determinam suas atividades como sítios de exportação ou importação de fotoassimilados. Durante o crescimento da folha ocorrem alterações nas funções fisiológicas que levam este órgão a desempenhar, inicialmente, atividades de dreno. A partir de seu completo desenvolvimento, as folhas passam a atuar como fonte (MAGALHÃES, 1995).

GENT (1994) estudando a alocação de fotoassimilados em plantas de trigo propôs três modelos de alocação, que poderiam ser válidos também para a planta de milho. No primeiro modelo considera-se não haver reservas de fotoassimilados, como todo o fluxo da fotossíntese sendo direcionado à formação de biomassa estrutural durante o crescimento vegetativo e, no crescimento reprodutivo, ao enchimento de grãos. Nesse modelo os excedentes da fotossíntese são dissipados pela respiração ou a fotossíntese sofre redução regulatória. No segundo modelo, considera-se que os fotoassimilados produzidos durante a fase vegetativa destinam-se tanto ao

desenvolvimento da planta quanto à formação de reserva de biomassa que sustentaria a respiração e a manutenção durante o crescimento vegetativo e serviria, durante o crescimento reprodutivo, também como fonte para o enchimento de grãos. No terceiro modelo, propõe-se que o fluxo de fotoassimilados é primeiramente destinado para pontos de reserva em diferentes órgãos da planta e que qualquer atividade, seja de crescimento, manutenção ou reprodução, seria dependente de uma conversão contínua desses fotoassimilados de reserva. Neste modelo não é considerado, portanto, que na fase reprodutiva haja um fluxo da fotossíntese direto para o crescimento de grãos.

No caso de alteração no arranjo populacional de plantas de milho, existem trabalhos recentes demonstrando que o incremento da densidade de plantas reduz a disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento dos grãos e a manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000). No entanto, TOLLENAAR et al. (1994), por sua vez, afirmam que após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente aos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz carboidratos em quantidade suficiente para a manutenção de todos os drenos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando estas regiões (TOLLENAAR et al., 1994).

Individualmente, estes assimilados são importantes na participação do crescimento e do desenvolvimento do milho (BELOW, 1995; KOCH, 1996; CAZETTA et al., 1999). A sacarose proveniente dos tecidos-fonte, ao chegar às regiões de utilização, será inicialmente hidrolisada antes de ser utilizada em algum processo metabólico, existindo dois possíveis sítios na célula vegetal para a ocorrência desse evento. Em alguns casos, a sacarose será hidrolisada na região apoplástica das células dos tecidos-dreno numa reação catalisada pela enzima invertase solúvel. O resultado dessa reação é a produção de uma molécula de glicose e uma de frutose, as quais, por sua vez, entram nas células com auxílio de transportadores de hexoses localizados na membrana plasmática (TUBBE & BUCKHOUT, 1992; YLSTRA et al., 1992). Outra possibilidade é a assimilação da sacarose e sua metabolização dentro da célula, pela enzima sacarose sintase, que irá produzir uma molécula de UDP-glicose e uma de frutose. A ocorrência de uma ou outra via, que ainda não está bem definida, parece ser

a preferência para a hidrólise mediada pela invertase da parede celular em tecidos-dreno, nas fases iniciais do seu desenvolvimento (MILLER & CHOUREY, 1992; ROITSH et al., 1995).

A sacarose (dissacarídeo não redutor, formado por uma molécula de glicose e uma de frutose), responsável pelo fornecimento de C é um precursor para a produção de amido (polissacarídeo não redutor, formado de muitas moléculas de glicose; e composto por dois polissacarídeos: amilose (fração solúvel, 20%) e amilopectina (fração insolúvel, 80%)), que é usado para a geração de energia. A sacarose que chega ao grão em desenvolvimento, proveniente da parte vegetativa, é a principal matéria prima utilizada para a biossíntese do amido durante o período de crescimento do endosperma (MATHER & GISER, 1951; JENNER & RATHJEN, 1977; OSHIMA et al., 1990). A sacarose é considerada importante por ser um regulador do gradiente de pressão de translocação entre o tecido-fonte e o dreno (ZINSELMEIER et al., 1995), em razão das enzimas do metabolismo da sacarose, tanto as invertases solúveis e a ligada, como a sacarose sintase (ROITSCH, et al., 1995). No entanto, a manifestação e a síntese destas enzimas têm sido apresentadas por serem reguladas pelo fornecimento de carboidratos (KOCH, 1996).

Uma grande variedade de enzimas atua no metabolismo da sacarose e hexoses em grãos de milho (COX & DICKINSON, 1973; DOEHLERT et al., 1988; DOEHLERT & FELKER, 1987; DOEHLERT et al., 1988; LEE & SETTER, 1985; OZBUN et al., 1973; TSAI et al., 1983; PREISS, 1982). A sacarose pode ser metabolizada tanto pela invertase quanto pela sacarose sintase (PREISS, 1982). Sendo que, numa maneira mais específica, segundo AVIGAD (1982), a invertase insolúvel, está localizada no citoplasma, com uma máxima atividade em pH 7,0, e a sua isoforma, a invertase solúvel, possui uma máxima atividade ao redor do pH 5,0, sendo encontrada em pelo menos duas regiões sub-celulares: no vacúolo (tonoplasto) e outra, considerada “extracelular”, que estão no apoplasto e uma significativa parte na parede celular. A sacarose sintase normalmente está localizada no citoplasma das células. Assim, com esta diferença de distribuição, considera-se que a invertase seja responsável pela manutenção de um gradiente de concentração de sacarose entre o floema e a parte

basal do endosperma podendo, portanto, auxiliar na transferência da sacarose do floema para dentro do grão em desenvolvimento (DOEHLERT & FELKER, 1987).

A atividade da sacarose sintase, correlacionando com a biossíntese dos grãos, indica que deve ser importante na conversão de sacarose em amido, proteína e lipídeos, porém, a disponibilidade de sacarose parece não ser tão importante no final do processo de maturação do grão, quando o grão já está praticamente cheio, durante a maturação (CHEVALIER & LINGLE, 1983; KUMAR & SINGH, 1984). Segundo DOEHLERT & FELKER (1987), a invertase pode ser encontrada principalmente no pedicelo e na porção inferior do endosperma, enquanto que a sacarose sintase está localizada na parte superior do endosperma.

Além do controle exercido pela sacarose, glicose e frutose, sobre o metabolismo e o desenvolvimento dos grãos, como preconizam DOEHLERT et al. (1988), os metabólitos do nitrogênio parecem também afetar a deposição do amido (MATHER & GISER, 1951; SINGLETARY & BELOW, 1989; SINGLETARY et al., 1990). Suspeita-se que a deficiência de tais metabólitos prejudica a biossíntese de enzimas-chave na síntese do amido (SINGLETARY et al., 1990), podendo-se destacar a sacarose sintase.

No desenvolvimento dos grãos, mais especificadamente do endosperma, são consideradas duas fases distintas, quer sejam: a de divisão celular e a de enchimento do grão. A primeira fase tem duração de aproximadamente de 26 dias após a polinização e é caracterizada pelo acúmulo de sais e constituintes solúveis, tais como: aminoácidos, açúcares, nucleotídeos, bem como síntese de proteínas, DNA e RNA. Na segunda fase ocorre por volta de 39 dias após a polinização, os constituintes solúveis são utilizados para a biossíntese de macromoléculas, principalmente o amido, sendo que esta é uma fase de desenvolvimento linear do endosperma, em termos de acúmulo de matéria seca (INGLE et al., 1965).

Alguns autores consideraram que a somatória de sais, açúcares e aminoácidos que se acumularam na primeira fase de desenvolvimento dos grãos seria responsável pela determinação de um gradiente osmótico, o qual controlaria o descarregamento do floema para os tecidos adjacentes do endosperma, induzindo a expansão dos grãos (MIFFLIN & SHEWRY, 1981).

Dentre os componentes solúveis encontra-se a fração albumina, que contém a maioria das proteínas solúveis, dentre as quais as proteínas enzimáticas (CULLEY et al., 1984). Tal fração atinge a concentração máxima ao redor dos 20 dias após a polinização e diminui nos estágios finais de desenvolvimento do grão (CULLEY et al., 1984). Muitas das enzimas desta fração estão envolvidas no metabolismo de carboidratos, na síntese do amido e no metabolismo do N e têm suas atividades significativamente aumentadas durante o período de granação do grão (SODEX & WILSON, 1977; TSAI et al., 1970; TSAI et al., 1978). Assim sendo, a absorção e assimilação do N pela planta é absolutamente essencial para a biossíntese de proteínas, dentre elas as enzimas, o que explica o fato do N desempenhar papel fundamental na manutenção do metabolismo dos carboidratos (SINGLENTARY et al., 1990; FALEIROS et al., 1996; CAZETTA, et al., 1999; FERREIRA et al., 2002), fazendo com que os metabolismos de C e N sejam interligados na determinação da produção de grãos de uma planta individual e da produtividade (SINGLENTARY & BELOW, 1989).

O nitrogênio, por sua vez, para que entre no metabolismo, precisa ser transportado e distribuído dentro da planta e, dentro das células sofrer os processos de assimilação bioquímica, processos estes cuja eficiência, isoladamente ou no conjunto, controlam a produção de grãos (CAZETTA, 1997). A assimilação do nitrogênio está intimamente relacionada com as reações da fotossíntese e metabolismo de carboidratos, tanto pela necessidade de energia para redução do nitrato à amônio, como também pelo fornecimento de cadeias carbônicas necessárias para a incorporação de amônio na formação dos aminoácidos (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000; BELOW, 2002). Segundo SEEMANN et al. (1987), esses dois processos são estreitamente interligados, pois a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese e a capacidade fotossintética, por sua vez, depende do nitrogênio, pois grande parte do nitrogênio das folhas está alocado nas proteínas envolvidas no processo fotossintético.

O nitrogênio é o único, entre os nutrientes minerais, que pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas, tanto na forma de ânion NO_3^- , como de cátion NH_4^+ , sendo incorporado em aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea das plantas

(BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000). Sabe-se que o milho utiliza, preferencialmente, nos primeiros estádios de desenvolvimento o íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrato (NO_3^-) nos estádios finais (WARNCKE & BARBER, 1973). No entanto a utilização de fontes de N mineral (NO_3^- , NH_4^+) pelas plantas é determinada pelas condições ambientais e, particularmente, pelas condições de solo em disponibilizar essas duas formas. Nesse sentido, a NO_3^- é a forma de N mais disponível nos solos agrícolas aerados onde a nitrificação não é inibida (WINRÉN et al., 1977).

Como a forma mais disponível do N nos solos tropicais é o nitrato, a redutase do nitrato é a primeira enzima envolvida na via de incorporação do nitrato, sendo considerada o passo limitante na incorporação do nitrogênio mineral em compostos orgânicos. Sendo assim, considerada uma enzima chave na regulação do metabolismo do N, já que o nitrato absorvido pelas raízes deve ser reduzido a NH_4^+ antes de ser incorporado em compostos orgânicos no sistema radicular ou principalmente, na parte aérea (STOLZ & BAZU, 2002; STITT et al., 2002; CAZETTA & VILLELA, 2004).

A redutase do nitrato foi considerada enzima chave na regulação do metabolismo de N na década de 70 (BEEVERS & HAGEMAN, 1969), em razão que o nitrato absorvido pelas raízes deve ser reduzido a amônio antes de ser incorporado em compostos orgânicos, seja no sistema radicular, seja na parte aérea. Ela é a primeira enzima na cadeia de redução do nitrogênio dentro do processo de assimilação do N nas plantas (PURCINO et al., 1994). Por causa desse seu papel regulador, a atividade da redutase do nitrato poderia estar relacionada, indiretamente, com a produtividade das culturas. Isso com base na pressuposição de que plantas com alta atividade da redutase do nitrato teriam maior capacidade de assimilar o nitrato disponível e, em consequência, maior capacidade em responder à adubação nitrogenada (BEEVERS & HAGEMAN, 1969). Vários trabalhos experimentais foram conduzidos para testar essa hipótese e para avaliar a possibilidade de se utilizar a atividade dessa enzima como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de genótipos mais produtivos ou mais eficientes no uso do nitrogênio (HAGEMAN et al., 1967; HAGEMAN & LAMBERT, 1988; PURCINO et al., 1994).

Uma vez incorporado às plantas o N-orgânico, por sua vez, encontra-se em equilíbrio dinâmico, sendo continuamente desdobradas e sintetizadas substâncias nitrogenadas, o que permite o acúmulo e translocação de N em diferentes órgãos, dependendo da fase de desenvolvimento ou estresse em que a planta está sendo submetida (PRADO, 2008).

Existem evidências de que o colmo das plantas de milho funciona alternativamente como órgão de importação e exportação de compostos nitrogenados durante o desenvolvimento da planta e que, conforme as condições fotossintéticas, o manejo e a demanda pelos demais órgãos, boa parte dos fotossintatos necessária para o desenvolvimento dos grãos em formação pode vir do colmo e não apenas da fotossíntese corrente (SILVA, 2002).

Um outro fator que é alterado pelo incremento populacional de plantas de milho, e, que está relacionado com o comportamento de fonte e dreno de fotoassimilados, é a capacidade de redistribuição de nutrientes das diferentes partes da planta para os grãos. RODRIGUES (1977) e POLLMER et al. (1979) verificaram que por meio da interação do híbrido e o ambiente, ocorre efeitos diferenciais na eficiência de translocação de nutrientes para os grãos. A mobilidade dos nutrientes nas plantas (redistribuição pelos órgãos no floema) varia de elemento para elemento, ou seja, as funções que o nutriente exerce na planta determinam sua mobilidade, e também sofre interferências do meio de cultivo e da espécie/cultivar (MARSCHNER, 1995; HORST et al., 1993; FERREIRA et al., 2001; PRADO, 2008).

O que se sabe é que a redistribuição de um nutriente na planta é um processo secundário e se refere à translocação do mesmo desde os locais onde foram depositados pelo movimento da água no xilema (CERDA et al., 1982) até atingir outros órgãos através dos vasos do floema. Assim, normalmente, os solutos (nutrientes) depois de absorvidos tendem a acumular em órgãos com maior taxa de transpiração (como as folhas maduras) em detrimento a outros órgãos (frutos, por exemplo). Para equacionar, este problema é que as plantas redistribuem os nutrientes nos diferentes órgãos, via vasos do floema.

Em culturas anuais, a taxa de redistribuição dos nutrientes na fase reprodutiva pode ser fator de produção, pois satisfaz parte significativa da exigência no final do cultivo da cultura (PRADO, 2008). Este tipo de assunto é comumente estudado a níveis de adubação (MALAVOLTA, 2005) e em condição de estresse hídrico (XU et al., 2005; XU et al., 2006), com os nutrientes N e K.

1.3. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, M. L. de; MEROTTO JUNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.
- AMARAL FILHO, J.P.R. do; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.467-473, 2005.
- ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART, S.O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 453-459, 1999.
- ARGENTA, G.; PAULO SILVA, R.F. da; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001.
- AVIGAD, G. Sucrose and other disaccharides. In: LOEWUS, F.A.; TANNER, W. (eds.) **Encyclopedia of plant physiology (new series)**. Berlin: Springer-Verlag, p.216-347, 1982.
- BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. Nitrate reduction in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v.20, p.495-522, 1969.
- BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.99, p.7-12, 2002.
- BELOW, F.E. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PESSARAKLI, M.; ed. **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 1995, p.275-301.

- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.
- CARNEIRO, G. E. S.; GERAGE, A. C. Densidade de semeadura. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: Iapar, 1991, p.63-70 (Circular, 68).
- CAZETTA, J. O. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no metabolismo, no desenvolvimento e na produção de plantas de milho. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997, 121p. (Livre Docência).
- CAZETTA, J.O.; SEEBAUER, J.R.; BELOW, F.E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels. **Annals of Botany**. v.84, p.747-754, 1999.
- CAZETTA, J.O.; VILLELA, L.C.V. Atividade da redutase do nitrato em folhas e caules de 'tanner grass' (*Brachiaria radicans* Napper). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.6, p.640-648, 2004.
- CERDA, A.; CARO, M.; SANTA CRUZ, F. Redistribucion de nutrientes en limonero verna determinados por un método indirecto. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, v.41,n.3, p.697-704, 1982.
- CHEVALIER, P.; LINGLE, S.E. Sugar metabolism in developing kernels of wheat and barley. **Crop Science**, v.23, p.272-277, 1983.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da Safra Agrícola 2007/2008** – Quarto Levantamento – Janeiro/2008.
- COORS, J. G.; MARDONES, M. C. Twelve cycles of mass selection for prolificacy in maize. **Crop Science**, Madison. v. 29, n.2, p. 262-266, 1989.
- COX, E.L.; DICKINSON, D.B. Hexokinase from maize endosperm and scutelum. **Plant Physiology**, Rockville, v.51, p.960-966, 1973.
- CRUZ, J.C.; PEREIRA, F.T.F.; PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C. de; MAGALHÃES, P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.60-73, 2007.
- CULLEY, D.E.; GENGENBACH, B.G.; SMITH, J.A.; RUBENSTEIN, I.; CONNELLY, J.A.; PARK, W.D. Endosperm protein synthesis and L-[35^S] methionine incorporation in maize kernels cultured in vitro, **Plant Physiology**, Rockville, v.74, p.389-394, 1984.

- DOEHLERT, D.C.; FELKER, F.C. Ketone reductase activity in developing maize endosperm. **Plant Physiology**, Rockville, v.84, p.830-834, 1987.
- DOEHLERT, D.C.; KUO, T.M.; FELKER, F.C. Enzymes of sucrose and hexose metabolism in developing kernels of two imbeds of maize. **Plant Physiology**, Rockville, v.86, p.1013-1019, 1988.
- FALEIROS, R.R.S.; SEEBAUER, J.R.; BELOW, F.E. Nutritionally induced changes in endosperm of shrunken-1 and brittle-2 maize kernels grown in vitro. **Crop Science**, v.36, p947-954, 1996.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; ROBERTO, P.; PEREIRA, G.; CARDOSO, A.A. Características agrônômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.131-138, 2001
- FERREIRA, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; PURCINO, A.A.C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.13-17, 2002.
- FORNASIERI FILHO, D. A cultura do milho. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. FUNEP, Jaboticabal, 2007, 576p.
- GENT, M.P.N. Photosynthate reserves during grain filling in winter wheat. **Agronomy Journal**, v.86, p.159-167, 1994.
- HAGEMAN, R.H., LENG, E.R., DUDLEY, J.W. A biochemical approach to corn breeding. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.45-86, 1967.
- HAGEMAN, R.H.; LAMBERT, R.J. The use of physiological traits for corn improvement. In: SPRAGUE, G.F.; DUDLEY, J.W.; **Corn and corn improvement**. 3 ed. Madison: ASA/CSSA, 1988. Cap.7. p.431-461.
- HORST, W.J.; ABDOL, M.; WIESLER, F. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.155/156, p.293-296, 1993.

- INGLE, J.; BEITZ, D.S.; HAGEMAN, R.H. Changes in composition during development and maturation of maize seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v.40, p.832-835, 1965.
- JENNER, C.F.; RATHJEN, A.J. Supply of sacarose and metabolism in developing grains of wheat. **Australian Journal Physiology**, Melbourne, v.4, p.691-701, 1977.
- KOCH, K.E. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.47, p.509-540, 1996.
- KUMAR, R.; SINGH, R. Levels of free sugars intermediate metabolites and enzymes of sucrose-starch conversion in developing wheat grains. **Journal Agriculturae Food Chemistry**, Washington, v.32, p.806-808, 1984.
- LEE, T.O.; SETTER, T.L. Enzyme activities of starch and sucrose pathway and growth of apical basal maize kernels. **Plant Physiology**, Rockville, v.79, p.848-851, 1985.
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese, partição de assimilados e crescimento de plantas sob estresse: o caso especial do milho. Simpósio Internacional sobre Estresse ambiental, p.187-221, 1995.
- MALAVOLTA, E. Potássio: absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. Eds. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS, 2005, p.179-238.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MATHER, D.E.; GISER, H. Protein and carbohydrate accumulation in normal and high-lysine barley in spike culture. **Plant Physiology**, Rockville, v.60, p.75-80, 1951.
- MATTER, U.F.; SILVA, C.J.; CAZETTA, J.O. Alocação de fotoassimilados em milho submetido a diferentes proporções de folhas e grãos. **Revista Ceres**. v.51, n.298, p.741-753, 2004.
- MIFFLIN, B.J.; SHEWRY, P.R. Seed storage protein genetics, synthesis, accumulation and protein quality. In: BOWLEY, B.J.; ed, **Nitrogen and carbon metabolism**, Martinus Nishoff/ Dr. W. Junk Publishers, Boston, p.195-248, 1981.
- MILLER, E.M.; CHOUREY, P.S. The maize invertase-deficient miniature-1 seed mutation is associated with aberrant pedicel and endosperm development. **The Plant Cell**, v.4, n.3, p.297-305, 1992.

- MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2000. p.1-2.
- NOVAIS, R. F. Comportamento de dois milhos híbridos duplos (*Zea mays* L.) AG206 e H6000 em três populações de plantas e três níveis de nitrogênio. Viçosa: UFV, 1970. 64p. (Dissertação).
- OHSHIMA, T.; HAYASHI, H.; CHINO, M. Collection and chemical composition of pure phloem sap from *Zea mays*, L. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v.31, p.735-737, 1990.
- OZBUN et al., Starch synthase, phosphorilase, ADP-glucose pyrophosphorilase and UDP-pyrophosphorylase in developing maize kernels. **Plant Physiology**, Rockville, v.51, p.1-5, 1973.
- PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003, 90p. (Dissertação).
- PEREIRA, R. S. B. Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético de milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 745-751, 1991.
- POLLMER, W.G.; EBERHARD, D.; KLEIN, D.; DHILLON, B.S. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. **Crop Science**. v.19, p.82-86, 1979.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. 1.ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. v.1. 300p.
- PREISS, J. Regulation of the biosynthesis and degradation of starch. **Annu. Rev. Plant Physiol.**, Palo Alto, v.33, p.431-454, 1982.
- PURCINO, A.A.C.; MAGNAVACA, R.; MACHADO, A.T. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.6, n.1, p.41-46, 1994.
- RODRIGUES, M.S.P. Varietal differences in maize in the uptake of nitrogen and its translocation of the grain. Cornell: Cornell University, 1977. 167p. (Ph.D. Thesis).
- ROITSCH, T.; BITTNER, M.; GODT, D.E. Induction of apoplastic invertase of *Chenopodium rubrum* by D-glucose and glucose analog and tissue expression suggest a role in sink-source regulation. **Plant Physiology**. v.108, n.1, p.285-294, 1995.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Evolução da tolerância a doenças de híbridos de milho de diferentes épocas em três populações de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p. 7-21, 2000.

SANGOI, L.; LECH, V.A; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.3, 2002.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da. **Densidade e arranjo populacional em milho**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Densidade/Index.htm>. Acesso em: 14/2/2008.

SCHEEREN, B.R.; BAZONI, R.; BONO, J.A.; ARIAS, S.S.; OLIVEIRA, R.; SALOMÃO, L. Arranjo populacional para a cultura do milho na região central do Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v 26, n.2, p.55-60, 2004.

SEEMANN, J.R.; SHARKEY, T.D.; WANG, J.L.; OSMOND, C.B.. Environmental effects on photosynthesis, nitrogen use efficiency, and metabolic pools in leaves of sun and shade plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v.84, p.796-802, 1987.

SHARRAT, B.S.; McWILLIAMNS, D.A. Microclimatic and Rooting Characteristics of Narrow-Row versus Conventional-Row Corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.1139-1135, 2005.

SILVA, C.J. Efeito de diferentes relações folhas/grãos sobre o metabolismo do nitrogênio em diferentes partes da planta de milho. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2002. 64p. (Dissertação).

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SINGLETERY, G.W.; BELOW, F.E. Growth and composition of maize kernels cultured in vitro with varying supplies of carbon and nitrogen. **Plant Physiology**, Rockville, v.89, p.341-346, 1989.

SINGLETERY, G.W.; DOEHLERT, D.C.; WILSON, C.M.; MUHTICH, M.J.; BELOW, F.E. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. **Plant Physiology**. v.94, p.858-864, 1990.

- SMICIKLAS, K.D.; BELOW, F.E. Influence of heterotic pattern on nitrogen use and yield of maize. **Maydica**, Bergamo, v.35, p.209-213, 1990.
- SODEX, L.; WILSON, C.M. Glutamate synthase: A possible role in nitrogen metabolism of developing maize endosperm. **Plant Physiology**, Rockville, v.60, p.602-605, 1977.
- STITT, M.; MÜLLER, C.; MATT, P.; GIBSON, Y.; CARILLO, P.; MORCUENDE, R.; SCHEIBLE, W.; KRAPP, A. Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism. **Journal of Experimental Botany**. v.53, p.959-970, 2002.
- STOLTZ, J.F.; BAZU, P. Evolution of nitrate reductase: Molecular and structural variations on a common function. **ChemBiochem**. v.3, p.198-206, 2002.
- TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, v.32, p.432-438, 1992.
- TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; MA, B.L. Physiological parameters associated with differences in kernel set among maize hybrids. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). **Physiology and Modeling Kernel Set in Maize**. Madison, Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.115-30. (Special Publication Number 29).
- TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D. E.; DWYER, L. M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G. A. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York: M. Dekker, 1994. p. 183-236.
- TSAl, C.L. Partitioning efficiency in cereal crops. *Field Crops Abstracts*, 1982.
- TSAl, C.Y. et al. Interactions between the kernel sink, grain yield and protein nutritional quality of maize. **Journal Science Food Agricultural**, London, v.34, p.255-263, 1983.
- TSAl, C.Y.; HUBER, D.M.; WARREN, H.L. Relationship of kernel sink for N to maize productivity. **Crop Science**, Madison, v.18, p.399-404, 1978.
- TSAl, C.Y.; SALAMINI, F.; NELSON, O.E. Enzymes of carbohydrate metabolism in the developing endosperm of maize. **Plant Physiology**, Rockville, v.46, p.299-306, 1970.
- TUBBE, A.; BUCKHOUT, T.J. In vitro analysis of the H⁺-hexose symporter on the plasma membrane of sugarbeets (*Beta vulgaris* L.) **Plant Physiology**, v.99, n.3, p.945-951, 1992.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain: World Markets and Trade**, Circular Series, January, 2008.

WARNCKE, D.; BARBER, S. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentrations and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.950-954, 1973.

WINRÉN, N. van; GAZZARINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.196, n.2, p.191-199, 1977.

WOHLENBERG, E. Área e Produção devem encolher, mas o Mercado internacional é promissor. In: AGRIANUAL 2007, **Mercado & Perspectivas**. p.405, 2006.

XU, Z.; YU, Z.W.; WANG, D.; ZHANG, Y.L. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 191, p.439-449, 2005.

XU, Z.; YU, Z.W.; YU, Z.; WANG, D. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit. **Plant and Soil**, v.280, n.1-2, p.291-303, 2006.

YLSTRA, B.; GARRIDO, D.; BUSSCHER, J.; TUNEN, A.J. van. A complete sequence of the rice sucrose synthase-1 (RSS1) gene. **Plant Molecular Biology**, v.29, n.5, p.881-885, 1992.

ZINSELMEIER, C; WESTGATE, M.E.; SCHUSSLER, J.R.; JONES, R.J. Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize (*Zea mays* L.) ovaries. **Plant Physiology**. v.107, p.385-391, 1995.

CAPÍTULO 2 – DENSIDADE POPULACIONAL, METABOLISMO DE CARBONO E NITROGÊNIO E A PRODUÇÃO DE GRÃOS EM PLANTAS DE MILHO

RESUMO: Pouca ênfase tem sido dada ao estudo do metabolismo de carboidratos e de nitrogênio em plantas de milho submetidas a diferentes densidades de plantas por unidade de área. Neste trabalho, objetivou-se avaliar as alterações no metabolismo de carbono e nitrogênio em plantas de milho, no período de enchimento dos grãos, em função do aumento da densidade populacional. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, nas condições de Jaboticabal-SP (48°15'18"W e 21°15'22"S), em 23 de novembro de 2005. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, constituído por cinco tratamentos formados por densidades populacionais do híbrido AG 9010 (30, 45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha), com quatro repetições. A adubação de semeadura foi realizada com 320 kg ha⁻¹ da fórmula 05-15-10 e, em cobertura foram aplicados 134 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio, com 60% do total no estágio V4 e 40% no estágio V8. Avaliaram-se os acúmulos de açúcares redutores, sacarose, amido, aminoácidos livres totais, e proteínas solúvel e bruta, e as atividades da invertase solúvel e ligada, sacarose sintase em colmos, folhas e grãos, e redutase do nitrato nas folhas das plantas de milho nos estádios de pendoamento (VT) e de grão pastoso (R4). O acúmulo de massa seca e dos metabólitos de C e N nos colmos, folhas e grãos das plantas de milho diminuíram em função do aumento da densidade populacional. Os menores adensamentos promoveram um ritmo de síntese de açúcares simples maior que o ritmo do uso dos mesmos para a síntese de amido. A atividade da invertase solúvel e ligada, sacarose sintase nas folhas, nos colmos e nos grãos, e da redutase do nitrato nas folhas foram menores com o aumento populacional em R4, exceto para a invertase solúvel nos grãos e sacarose sintase na folha. O estudo em condições de campo sobre o metabolismo das plantas assemelhou-se aos dos cultivos de grãos *in vitro*, quanto aos aminoácidos livres e a atividade da sacarose sintase.

Palavras-chave: *Zea mays* L., adensamento, enzimas, metabólitos.

Population density, carbon and nitrogen metabolism and corn grain production

ABSTRACT: Little emphasis has been given to the study of carbohydrates metabolism and nitrogen in corn plants submitted to different plant densities per unit of area. The present work had the objective of evaluating the changes of carbon and nitrogen metabolism in corn plants, during the grain filling, with the increase of population density. The experiment was carried out in a Typical Haplustox, clayey texture, at Jaboticabal – SP (48°18'58" W 21°15'22"S), on the 23 of November of 2005. The experimental design was a complete randomized block, where the plots were represented by five population densities of the hybrid AG 9010 (30, 45, 60, 75 and 90 thousand plants per hectare), with four replications. Sowing fertilization was performed with 320 kg ha⁻¹ of the formula 05-15-10 and side dressing with 134 kg ha⁻¹ of N, by the form of ammonium sulfate, with 60% on V4 stage and 40% on V8 stage. The following variables were measured in corn plants, at the VT and R4 stages: reductive sugars, sucrose, starch, total free aminoacids, soluble protein, crude protein, soluble and linkaged invertase activity, sucrose syntax in stalks, leaves and grains and nitrate reductase in leaves. The storage of dry mass and C and N metabolites in the stalks, leaves and grains of the corn plants decreased in function of the population density increase. The smallest densities promoted a bigger simple sugar synthesis rhythm than the rhythm of their use for the starch synthesis. The activity of the soluble and linkaged invertase, sucrose syntax in stalks, leaves and grains and nitrate reductase in leaves were smaller with the population increase in R4, except for the soluble invertase in the grains and sucrose syntax in the leaves. Relating to free aminoacids and sucrose syntax activity, the study of plant metabolism on field conditions was very similar to the studies of grains in vitro.

Key words: *Zea mays* L., plant competition, enzymes, metabolites.

2.1. Introdução

A planta de milho possui elevado potencial produtivo e acentuada habilidade fisiológica na conversão de carbono mineral em compostos orgânicos (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI FILHO, 2007). A eficiência desta conversão de energia radiante em fitomassa depende de fatores genéticos, climáticos, edáficos e de manejo, destacando-se as práticas culturais como a densidade populacional e o espaçamento entre linhas (SANGOI, 2001).

O aumento da densidade populacional acompanhada da redução do espaçamento resulta em aumento de produtividade por área. No entanto, avaliando por planta os efeitos do incremento da densidade populacional, observa-se uma redução da disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento dos grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000). Quando o aparato fotossintético não produz carboidratos em quantidades suficientes para a manutenção de todos os drenos, a maior demanda exercida pelos grãos por estes produtos leva os tecidos foliares da base da planta a senescerem precocemente (TOLLENAAR et al., 1994).

No estabelecimento dos grãos, na formação inicial e o ritmo de enchimento dos mesmos são determinados pela atividade metabólica da folha (fonte de fotoassimilados) como também dos grãos (dreno de fotoassimilados), onde o nitrogênio desempenha papel fundamental na manutenção do metabolismo dos carboidratos (SINGLENTARY et al., 1990; FALEIROS et al., 1996; CAZETTA, et al., 1999; FERREIRA et al., 2002).

Individualmente, esses carboidratos são importantes no crescimento e no desenvolvimento do milho (BELOW, 1995; KOCH, 1996; CAZETTA et al., 1999). A sacarose, responsável pelo fornecimento de C é um precursor para a produção de amido. A sacarose é considerada importante também por ser um regulador do gradiente de pressão de translocação entre o tecido-fonte e o dreno (ZINSELMEIER et al., 1995). E ainda, a manifestação e a síntese destas enzimas são reguladas pelo aumento da glicose e frutose, para as invertases solúvel e ligada, e UDP-glicose e frutose para a sacarose sintase (KOCH, 1996), sendo este carboidrato sintetizado pelas enzimas invertases solúvel e ligada e a sacarose sintase (ROITSCH, et al., 1995).

O nitrogênio, por sua vez, para que entre no metabolismo, precisa ser absorvido, transportado e distribuído dentro da planta e, dentro das células sofrer os processos de assimilação bioquímica. Esses processos cujas eficiências, isoladamente e no conjunto, controlam a produção de grãos (CAZETTA, 1997). A assimilação do nitrogênio está intimamente relacionada com as reações da fotossíntese e metabolismo de carboidratos, tanto pela necessidade de energia para redução do nitrato à amônia, como também pelo fornecimento de cadeias carbônicas necessárias para a incorporação de amônia na formação dos aminoácidos (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000; BELOW, 2002).

Normalmente, os estudos com metabolismo de plantas submetidas a diferentes relações fonte e dreno de fotoassimilados são desenvolvidos em condições de casa de vegetação ou em laboratórios através de técnicas de hidroponia (GENTRY & BELOW, 1993), infusão no colmo (BOYLE et al., 1994) e ainda crescimento de grãos *in vitro* (CAZETTA et al., 1999). Apesar de tais técnicas apresentarem as vantagens de conseguir maior controle no suprimento de assimilados para o grão, apresentarem maior facilidade na condução do experimento e controle dos fatores ambientais que interferem no estabelecimento e formação dos grãos (FALEIROS et al., 1996), estes estudos não refletem as condições das plantas no campo, havendo assim a necessidade de se estudar a fisiologia das plantas quando submetidas às reais condições de cultivo.

Neste contexto, idealizou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar as alterações no metabolismo de carbono e nitrogênio em plantas de milho, no período inicial de enchimento dos grãos, em função do aumento da densidade populacional, sob as condições de cultivo no campo.

2.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 2005/2006, em Jaboticabal, SP, Brasil, situado a 48°18'58" de longitude Oeste e 21°15'22" de latitude Sul, altitude de 575 m e clima, segundo a classificação de Köppen, Cwa.

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado caulínítico hipoférrico de relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). Nesta área, anteriormente ao experimento, tinham cultivado soja por dois anos consecutivos. O resultado da análise química na camada de 0-20 cm, segundo a metodologia de RAIJ & QUAGGIO (1983), apresentou os valores de pH em $\text{CaCl}_2 = 6,1$; M.O. = 25 g dm^{-3} ; P(resina) = 84 mg dm^{-3} ; K = $3,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca = $63 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg = $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H + Al = $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; SB = $116,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC = $136,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e V = 85%.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco densidades populacionais (30, 45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha). Utilizou-se o híbrido simples AG 9010 de ciclo precoce, e plantas de porte baixo e folhas eretas, e cultivado em condições de sequeiro.

O manejo do solo foi realizado em sistema convencional (uma aração e duas gradagens). As parcelas foram demarcadas em dez linhas espaçadas de 0,45 m com 6 m de comprimento. Com base na análise química deste solo e recomendações de RAIJ & CANTARELLA (1997), realizou-se a adubação no sulco de semeadura, com 16 kg ha^{-1} de N, 48 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 32 kg ha^{-1} de K_2O , 22 kg ha^{-1} de S e $9,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn. A semeadura foi efetuada manualmente, no dia 23 de novembro de 2005, utilizando-se duas sementes a cada ponto equidistantes entre si na linha de semeadura, em distâncias que correspondiam a diferentes densidades populacionais (0,74; 0,49; 0,37; 0,30 e 0,25 m, respectivamente), com posterior desbaste no estágio V3 (três folhas completamente desenvolvidas), deixando-se uma planta em cada ponto. A adubação de cobertura foi realizada com sulfato de amônio, manualmente, aplicando-se 134 kg ha^{-1} de N, sendo parcelado em 60% deste total no estágio V4 e 40% no estágio V8, seguindo as orientações de RAIJ & CANTARELLA (1997).

Para a determinação dos teores de metabólitos e das atividades enzimáticas foram realizadas amostragens nos estádios VT (pendoamento) e R4 (grão pastoso) da planta de milho (RITCHIE & HANWAY, 1993), com um intervalo de 21 dias. Com o auxílio de um estilete foram retiradas amostras da parte central da folha mais próxima da espiga, do primeiro internódio do colmo abaixo da inserção da espiga e dos grãos do

ápice e da base da espiga, de dez plantas de cada parcela, formando uma amostra composta. As amostras foram identificadas e, seguindo as indicações de SINGLETARY et al. (1990), imediatamente mergulhadas em nitrogênio líquido. No laboratório foram liofilizadas, moídas em almofariz contendo nitrogênio líquido e armazenadas a -80°C.

Para a extração dos metabólitos, consideraram-se amostras com massa de 25 mg. Em seguida a amostra foi agitada em um tubo de centrífuga contendo 1 mL de etanol 80% e em seguida colocou-se em banho-maria a 60°C, por 30 minutos. Após centrifugação durante 20 minutos a 1.200g o sobrenadante foi retirado, adicionado mais 1 mL de etanol 80% repetindo-se o processo por mais duas vezes, juntou-se os sobrenadantes e o volume completado para 8 mL com água deionizada (SINGLETARY & BELOW, 1989; FALEIROS et al., 1996). Neste extrato foram determinados os teores de açúcares redutores através da reação com DNSA (ácido 3,5-dinitrosalicílico), com posterior determinação espectrofotométrica a 520 nm, seguindo as indicações de FALEIROS et al. (1996). Os teores de sacarose foram determinados através da reação quantitativa com resorcinol, com posterior leitura espectrofotométrica a 520 nm (FIEUW & WILLENBRINK, 1987). Os teores de aminoácidos livres foram determinados pela reação quantitativa com ninhidrina, com posterior determinação espectrofotométrica a 570 nm (MOORE, 1968). Para determinação do amido, o resíduo da centrifugação foi suspenso com 1 mL de KOH 0,2 N e aquecido por 30 minutos. Após ajustado o pH para aproximadamente 5,0 pela adição de ácido acético 1 N, foi adicionado 1 mL de tampão acetato 50 mM, pH 5,0, contendo amiloglicosidase (50 UI.mL⁻¹) e amilase (50 UI.mL⁻¹) e, então, incubados por 24 horas a 36°C. Após a incubação a suspensão foi centrifugada por 20 minutos a 1200 g, o sobrenadante retirado, completando-se o volume para 5 mL, sendo feita a determinação dos açúcares redutores formados pelo método do DNSA e os valores multiplicados por 0,9, obtendo-se o equivalente de amido (BROWN & HUBBER, 1988; FALEIROS et al., 1996).

A extração das enzimas e de proteínas solúveis foi realizada de acordo com as indicações de SINGLETARY et al. (1990). Uma quantidade de 100 mg de amostra liofilizada foi homogeneizada (homogenizador tipo Turrax) por 30 segundos, a 4°C, em 2 mL de tampão extrator HEPES (ácido N-2-hidroximetilpiperazina-N'-2-

etanossulfônico) 50 mM, pH 7,5, contendo $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5mM e DTT (Ditiotreitol) 1 mM, submetido a uma centrifuga refrigerada (20.000 g, 4°C, 20 minutos). O sobrenadante foi transferido para tubos de diálise “Spectrapor 4”, e dialisado em tampão HEPES 10 mM, pH 7,2, contendo $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5mM e DTT 1 mM, durante 24 horas a 4°C.

A atividade da invertase solúvel foi determinada de acordo com DOEHLERT & FELKER (1987), transferindo uma alíquota do extrato dialisado num meio reacional contendo tampão acetato 200 mM, pH 5,0 e sacarose 10 mM. A reação desenvolvida a uma temperatura de 30°C, foi interrompida após 20 minutos pela adição dos reagentes para a determinação dos açúcares redutores pelo método do DNSA, segundo MILLER (1959). A determinação da atividade da sacarose sintase foi determinada de acordo com DOEHLERT et al. (1998), transferindo uma alíquota do extrato dialisado num meio contendo tampão MES [ácido 2-(N-morfolino)-etanossulfônico] 80 mM, pH 6,0; sacarose 300 mM e UDP (Uridino-difosfato) 10 mM. A determinação foi realizada a uma temperatura constante de 30°C, desenvolvendo a reação no sentido de degradação da sacarose. A reação foi interrompida após 20 minutos, através da fervura, e a frutose produzida foi determinada utilizando-se o método do DNSA (MILLER, 1959). No resíduo obtido com a centrifugação no processo inicial de extração das enzimas foi determinado a atividade da invertase ligada, de acordo com DOEHLERT & FELKER (1987), submetendo este a uma nova extração (30 segundos, 4°C) com tampão HEPES 10 mM (pH 7,2) contendo $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5 mM, DTT 1 mM e NaCl 1M. Após a centrifugação (20.000 g, 20 minutos), uma alíquota do sobrenadante foi imediatamente submetida à determinação da atividade da invertase ligada, seguindo a mesma técnica da invertase solúvel. Para a determinação de proteínas solúveis foi seguido o método descrito por PETERSON (1977), que envolve a precipitação com TCA (ácido tricloroacético) 72%; centrifugação (1.800 g, 15 minutos); ressuspensão com SDS (dodecil sulfato de sódio); reação colorimétrica com reagente de Folin-Ciocalteu e solução de CTC (cobre-tartarato-carbonato), com posterior determinação espectrofotométrica a 750 nm. Para conversão das absorbâncias em concentração utilizou-se uma curva padrão usando albumina de soro bovino como padrão.

A proteína bruta foi determinada a partir da multiplicação do teor de nitrogênio total pelo fator 6,25. Sendo o nitrogênio total determinado método de Kjeldhal (MALAVOLTA et al., 1997).

A atividade da redutase do nitrato foi determinada pelo método *in vitro* de acordo com JAWORSKI (1971), usando-se amostras de 10 folhas vizinhas da espiga, formando uma amostra composta. As amostras do limbo das folhas, coletadas entre 7h e 10h, com o auxílio de um furador de rolhas, retiraram-se 20 discos de 1cm de diâmetro, os quais foram colocados em frasco escuro, na presença de 10 ml do meio de incubação (Tampão fosfato 100 mM pH 7,2; KNO₃ 50 mM; N- propanol 1% (v/v); Triton X-100 0,1% (v/v)), submetidos à infiltração a vácuo por três minutos e em seguida incubado durante 1 hora em banho-maria a 30° C. Após a incubação adicionou-se 1 mL de uma solução de sulfanilamida 1% em HCl 3 N, para paralisar a atividade enzimática. A seguir, determinou-se o teor de nitrito conforme método proposto por NICHOLAS et al. (1976).

Para a determinação da massa seca nas frações colmos, folhas e grãos, foram coletadas de 10 plantas representativas da área útil da parcela, formando uma amostra composta para cada fração. A massa seca nos colmos, nas folhas e nos grãos foi determinada por meio da pesagem das amostras, após serem secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até o peso constante.

O número de grãos por espiga foi determinado em 10 espigas escolhidas aleatoriamente dentre as que foram colhidas em cada parcela. A produtividade de grãos por planta, após a maturidade fisiológica, foi determinada por meio da média de produção por planta, da área útil da parcela, colhida quando os grãos atingiram o teor de umidade próximo de 13% no campo. A colheita e a debulha das espigas de milho foram realizadas manualmente.

A partir dos teores de metabólitos e as atividades enzimáticas com a massa seca das partes colmo, folha e grãos das plantas de milho foram calculados e expressos os resultados em g/planta.

Os dados foram submetidos à análise de variância. O número de grãos por espiga, os acúmulos de massa seca, dos metabólitos e das atividades enzimáticas nos colmos, nas folhas e nos grãos, e redutase do nitrato nas folhas de plantas de milho

submetidas a diferentes densidades populacionais foram avaliadas com o emprego da análise de regressão polinomial (BANZATTO & KRONKA, 2006).

2.3. Resultados e Discussão

O aumento da densidade populacional de 30 para 90 mil plantas por ha promoveu uma redução significativa do acúmulo de massa seca nos colmos e nas folhas por planta, detectadas tanto no estágio VT (Figura 1A) quanto no R4 (Figura 1B). Observou-se um acúmulo de massa seca em todas as partes das plantas de todos os tratamentos no período entre o estágio VT (Figura 1A) e o R4 (Figura 1B). No estágio R4 (Figura 1B) observou-se um aumento do acúmulo de massa seca de grãos por planta na medida em que se diminuiu a densidade populacional. Resultados estes esperados e concordantes com SANGOI et al (2000).

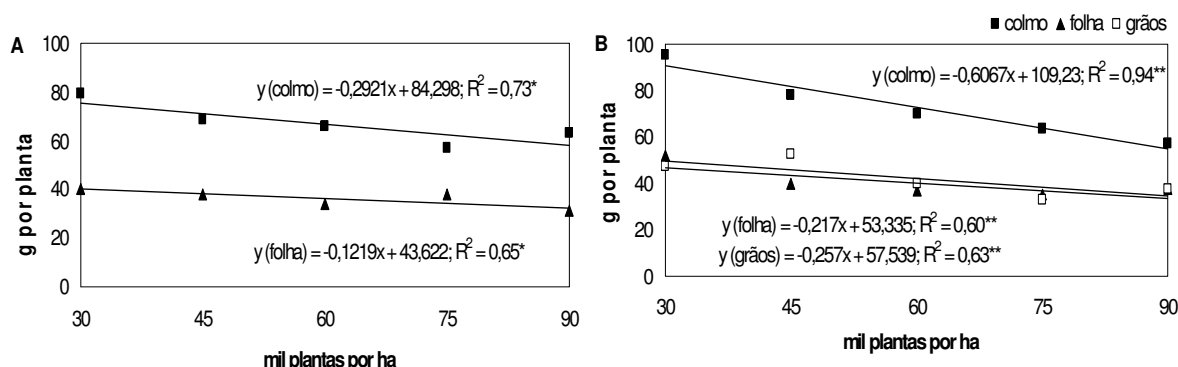


Figura 1. Massa seca de colmos, folhas e grãos por planta de milho, nos estádios de pendoamento (A) e grão pastoso (B), submetidas a cinco densidades populacionais.

No acúmulo dos açúcares redutores (Figuras 2A e 2B) notaram-se comportamentos semelhantes ao acúmulo de massa seca (Figura 1A e 1B), com exceção do colmo no pendoamento (Figura 1A) que não apresentou variação significativa ($P < 0,01$) com o aumento do número de plantas por unidade de área.

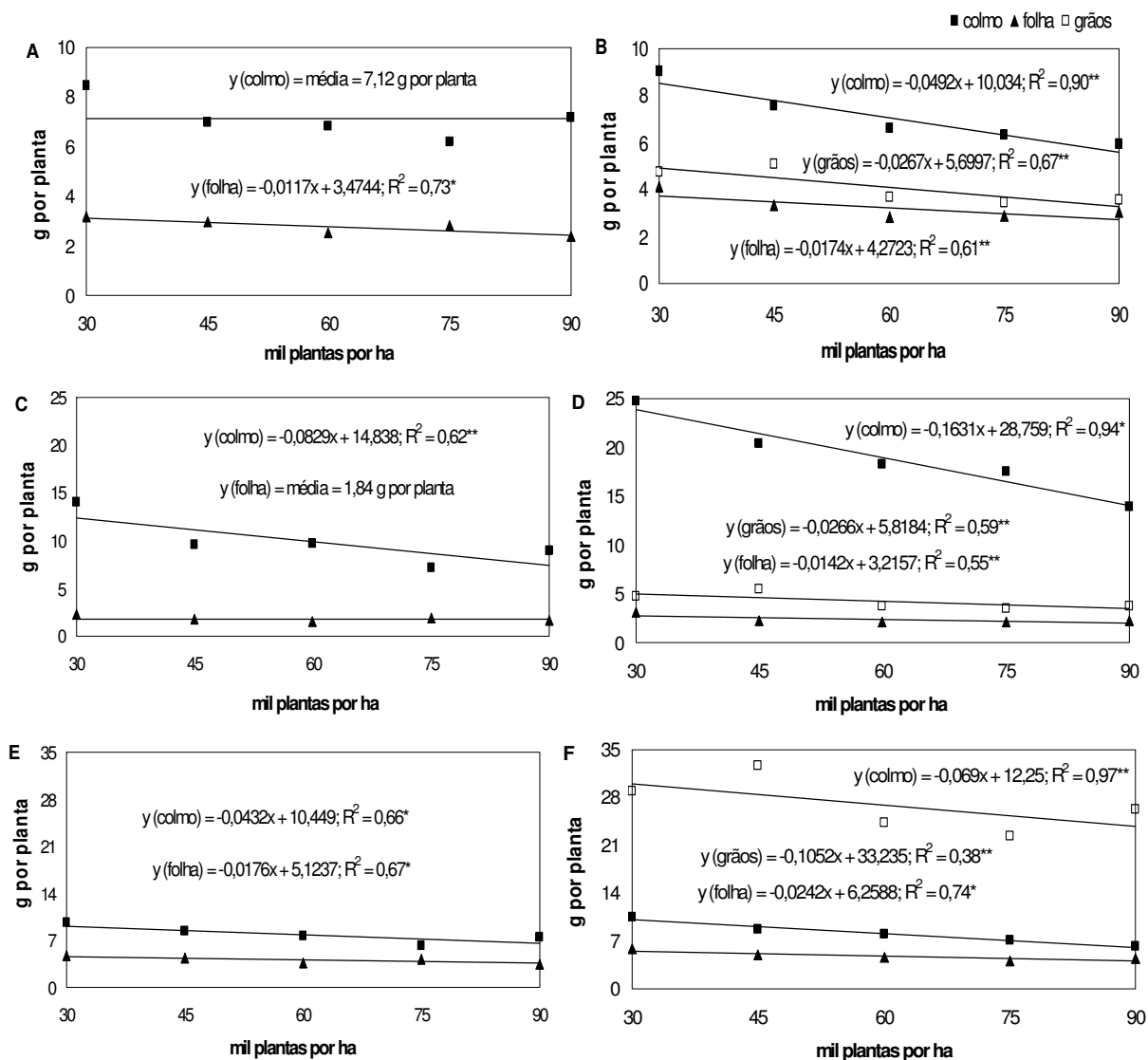


Figura 2. Acúmulo de açúcares redutores (A (pendoamento) e B (grão pastoso)), sacarose (C (pendoamento) e D (grão pastoso)) e amido (E (pendoamento) e F (grão pastoso)) nos colmos, nas folhas e nos grãos por planta de milho, submetidas a cinco densidades populacionais.

As folhas de todos os tratamentos com as menores densidades populacionais apresentaram um pequeno aumento no acúmulo de açúcares redutores de VT para R4 (Figuras 2A e 2 B), que foi concordante com os resultados obtidos por WESTGATE &

BOYER (1985) e SILVA (2005). Nos colmos não ocorreu diferença, com exceção das plantas do tratamento com 90 mil plantas por ha, no estágio R4, que acumularam menos carboidratos redutores que a dos demais tratamentos. Nos grãos no estágio R4, o maior acúmulo de açúcares redutores foi observado nos tratamentos com 30 e 45 mil plantas por ha, diminuindo com o aumento da densidade populacional. Tais resultados indicam que em condições de menor densidade populacional ocorreu um ritmo de síntese de açúcares simples maior que o ritmo do uso dos mesmos na síntese de amido e outros compostos, o que deve ser a causa do acúmulo no colmo.

Para sacarose (Figuras 2C e 2D), as plantas de milho submetidas a crescentes densidades populacionais, apresentaram redução da quantidade acumulada nos colmos no pendoamento (VT) e no grão pastoso (R4), e nas folhas em R4. No acúmulo de amido nos colmos e nas folhas (Figuras 2 E e 2F) ocorreu uma redução significativa ($P<0,01$) em VT e R4 com o aumento da densidade de plantas. E para os grãos, observou-se que ocorreu maiores acúmulos de sacarose (Figura 2D) e de amido (Figura 2F) nas plantas submetidas às menores densidade populacionais.

Entre os estádios VT e R4, observou-se aumento na quantidade acumulada de sacarose nas folhas das plantas do tratamento com 30 mil plantas por ha (Figuras 2C e 2D), mas não ocorreu variação de amido (Figuras 2E e 2F). Para o colmo, o acúmulo de sacarose aumentou significativamente (Figuras 2C e 2D) e o de amido aumentou apenas no tratamento com 30 mil plantas por ha (Figuras 2C e 2D). Tais resultados indicam que o ritmo de fotossíntese na fonte (folhas), principalmente das plantas menos adensadas, estava tão intenso que superou a capacidade do dreno (grão) em processar esse fotoassimilado, aumentando assim a quantidade de sacarose nos colmos (Figura 2D), pois não foi observado nenhum aumento expressivo do acúmulo de açúcares redutores (Figuras 2A e 2B) e amido (Figuras 2C e 2D) nos colmos e nem nas folhas de todos os tratamentos.

A atividade da invertase solúvel (Figuras 3A e 3B), da ligada (Figuras 3C e 3D) e da sacarose sintase nas folhas e nos colmos (Figuras 3E e 3F) apresentaram diminuição apenas no estágio R4, em função do aumento da densidade populacional,

com exceção da invertase ligada nos colmos, no estágio VT (Figura 3C), que apresentou uma tendência de menores valores à medida em que adensou.

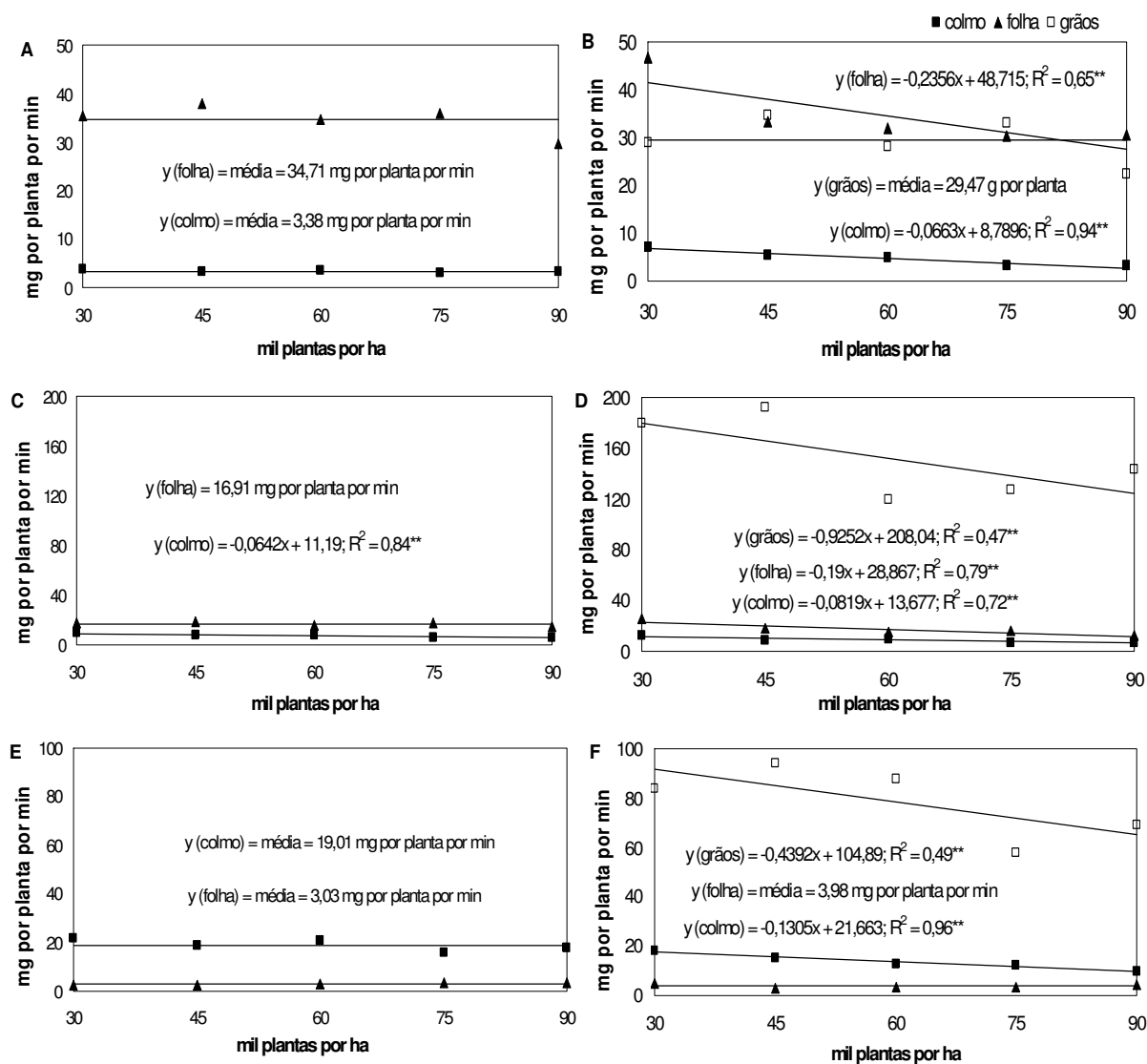


Figura 3. Atividade das invertases solúvel (A (pendoamento) e B (grão pastoso)) e ligada (C (pendoamento) e D (grão pastoso)) e da sacarose sintase (E (pendoamento) e F (grão pastoso)) nos colmos, nas folhas e nos grãos de plantas de milho, submetidas a cinco densidades populacionais.

As enzimas do metabolismo de carboidratos (Figura 3) apresentaram redução da atividade com o aumento da densidade populacional quando avaliadas no estágio R4, com exceção da invertase solúvel nos grãos e da sacarose sintase nas folhas. Demonstrando que mesmo a planta estando submetida ao adensamento populacional, continua de maneira intensa a conversão de açúcares redutores em sacarose pela sacarose sintase nas folhas, provavelmente para exportar carbono para os grãos, pois a sacarose é o carboidrato que se movimenta na planta de milho (BELOW, 1995; KOCH, 1996; CAZETTA et al., 1999). O mesmo foi observado para a conversão de sacarose em açúcares redutores nos grãos pela invertase solúvel, com o objetivo de manter o gradiente de concentração que favorece o “descarregamento” de carboidratos no grão para o seu enchimento (ZINSELMEIER et al., 1995).

A análise conjunta dos resultados de sacarose (Figura 2D) e de invertase solúvel (Figura 3B) nos colmos, permitiu verificar que no estágio R4 a atividade dessa enzima apresentou-se relativamente baixa mesmo enquanto os acúmulos de sacarose mantiveram-se relativamente elevados. Estes resultados sugerem que a atividade enzimática nos colmos deve ser mantida baixa na fase que coincide com o desenvolvimento dos grãos (R4), para que a sacarose seja mantida intacta e possa ser exportada. Os dados da Figura 2B indicam que, nas plantas com elevada produção de fotoassimilados (menor adensamento), o colmo acumulou sacarose como uma reserva de carboidratos. À medida que o adensamento aumentou, o colmo acumulou menos sacarose, ou seja, aumentou a exportação para o tecido dreno, provavelmente para compensar a menor eficiência fotossintética que o adensamento provoca.

A comparação dos resultados dos dois tipos de invertase permitiu verificar que os colmos e as folhas possuem atividades bastante similares, porém, nos grãos a atividade da invertase ligada foi muito superior à da invertase solúvel, em todos os tratamentos estudados. Sendo esta diferença entre a invertase solúvel e ligada nos grãos, também encontrada nos trabalhos de DOEHLERT & FELKER (1987), BELOW (1995), CAZETTA et al. (1999). Sabe-se que a invertase ligada está presente nas regiões sub-celulares, consideradas extracelulares, como o apoplasto e a parede celular, que recebem em primeiro lugar e em maior proporção a sacarose (AVIGAD, 1982). Desta forma, tais

resultados sugerem que a invertase ligada é mais importante que a invertase solúvel na manutenção do gradiente de sacarose e, portanto, deve estar mais relacionada à força do dreno (grãos) em absorver a sacarose.

A atividade da sacarose sintase nos colmos (Figuras 3E e 3F) tendeu a diminuir do estágio VT para o R4, de maneira semelhante ao acúmulo dos açúcares redutores (Figuras 2A e 2B) e de amido (Figuras 2E e 2F). Estes resultados, aliados à observação de que a sacarose estava muito mais acumulada no colmo do que nas demais partes (Figuras 2C e 2D) sugerem que a sacarose sintase no colmo ocorre principalmente no sentido de síntese de sacarose.

Nos grãos inteiros, no estágio R4, foi verificada uma redução da atividade das enzimas invertase solúvel (Figura 3B), invertase ligada (Figura 3D) e da sacarose sintase (Figura 3F) à medida que se aumentou a densidade populacional. Essa tendência também foi verificada para o acúmulo de massa seca (Figura 1) e carboidratos (Figura 2) por planta, resultando assim em menor acúmulo de massa seca de grãos por planta, conforme resultados apresentados na Figura 1B. Nos trabalhos de FALEIROS et al. (1996) e de CAZETTA et al. (1999), que analisaram o efeito de crescentes concentrações de sacarose em grãos cultivados *in vitro*, obtiveram redução da atividade da invertase solúvel e ligada, bem como aumento da sacarose sintase com o aumento da concentração de sacarose. Comparando com os resultados encontrados no presente trabalho, podemos notar certa semelhança, pois em tratamentos com a menor densidade populacional, que apresentaram o maior acúmulo de sacarose (Figura 2D), e apresentaram também as maiores atividades de invertase solúvel (Figura 3B), ligada (Figura 3D) e da sacarose sintase (Figura 3F), pode-se deduzir que o maior acúmulo de sacarose nas plantas submetidas a menor densidade populacional estimulou a elevação da atividade destas enzimas. Para o caso das invertases solúvel e ligada, ao contrário do encontrado por FALEIROS et al. (1996) e CAZETTA et al. (1999), neste trabalho foi observado um aumento da atividade destas enzimas com o aumento de sacarose (menor densidade populacional). Para o caso das plantas mais adensadas, em que se espera que esteja chegando a uma menor quantidade de sacarose nos grãos, possivelmente seja a explicação para menor atividade das enzimas

invertase solúvel e ligada, para a conversão de sacarose em carboidratos redutores e posterior formação de amido.

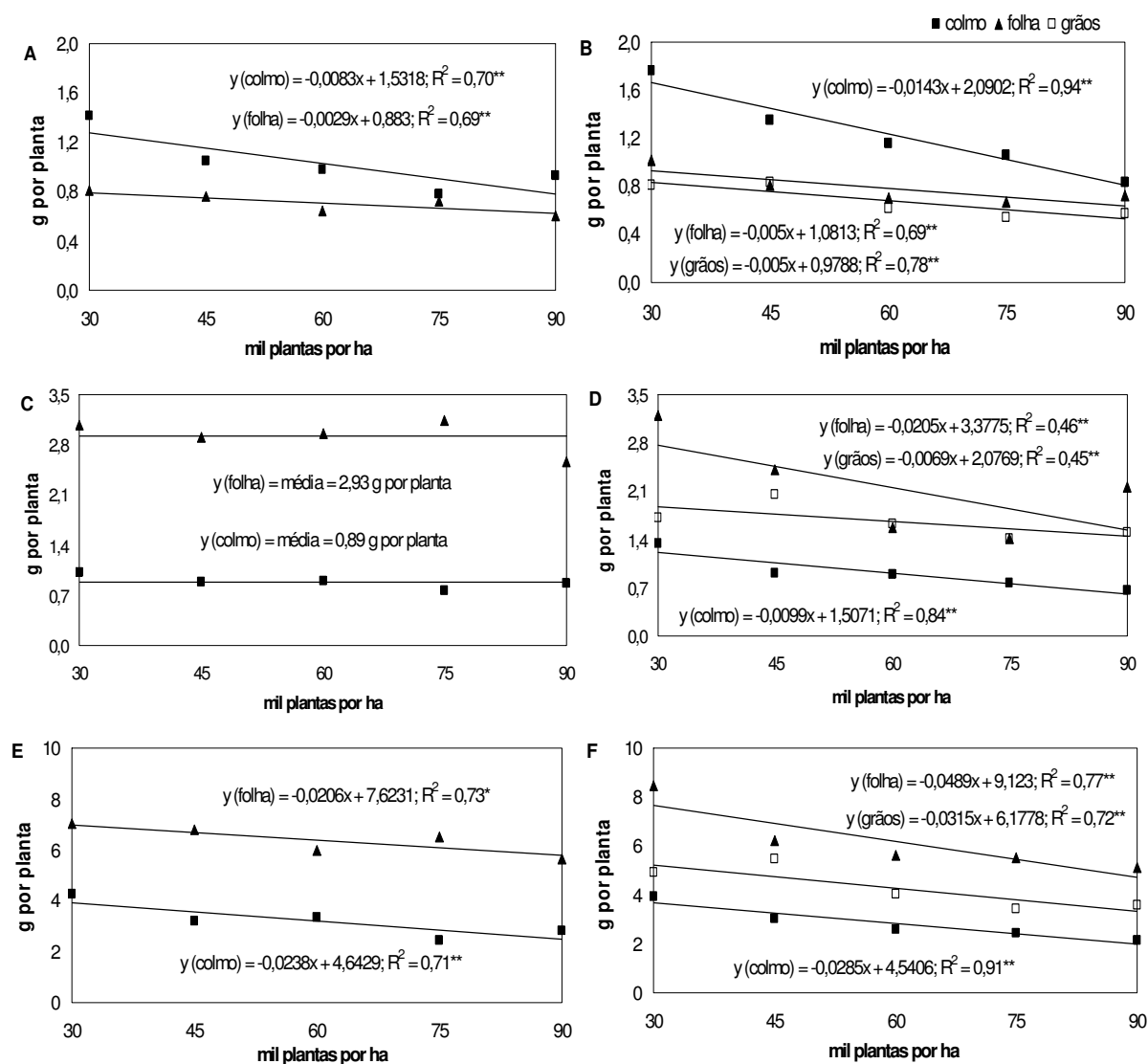


Figura 4. Acúmulo de aminoácidos livres totais (A (pendoamento) e B (grão pastoso)), proteínas solúveis (C (pendoamento) e D (grão pastoso)) e proteína bruta (E (pendoamento) e F (grão pastoso)) nos colmos, nas folhas e nos grãos por planta de milho, submetidas a cinco densidades populacionais.

O aumento da densidade populacional também afetou o metabolismo nitrogenado (Figuras 4 e 5). Os aminoácidos livres totais nos colmos e nas folhas foram menores à medida que se aumentou a densidade de plantas, tanto no estágio VT quanto no R4 (Figuras 4A e 4B). Comportamentos estes, semelhantes aos obtidos por CAZETTA (1997) em tratamentos que apresentavam as menores quantidades de nitrogênio por planta, e diferentes dos obtidos por SILVA (2005) em plantas de milho sob estresse hídrico e fornecimento de nitrogênio, que apresentavam aumentos nos acúmulos de aminoácidos livres nas folhas e nos colmos. Tais resultados sugerem que o aumento da densidade populacional das plantas, nas condições deste experimento, as plantas não devem ter competido de forma intensa por água, mas o adensamento deve ter induzido uma importante competição por luz e N.

Na comparação do acúmulo de aminoácidos livres entre os estádios de pendoamento e grão pastoso, podemos observar nas Figuras 4A e 4B, que ocorreu aumento nos acúmulos de aminoácidos livres no estágio de grão pastoso nos colmos e nas folhas das plantas de milho. Este aumento até o estágio de grão pastoso ocorre devido às plantas não estarem utilizando-o ainda em grandes proporções, pois com a elevada absorção de N e a intensa atividade metabólica favorece a maior formação e acúmulo de aminoácidos (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000; BELOW, 2002) neste período inicial de enchimento dos grãos. Após este estágio fenológico, as plantas irão consumir este metabólito para a sua conversão em proteínas e outros compostos nitrogenados mais complexos (CAZETTA, 1997).

Para os acúmulos de proteínas solúveis, o incremento populacional não afetou as plantas no estágio de pendoamento (Figura 4C). Entretanto, no estágio R4, os maiores acúmulos de proteínas solúveis nos colmos e nas folhas ocorreram nas plantas submetidas a 30 mil plantas por ha, e reduzindo com o aumento da densidade populacional (Figura 4D), indicando que em menor densidade populacional deve estar ocorrendo uma produção de proteínas solúveis superiores à quantidade necessária para o uso. De maneira semelhante aos demais metabólitos e enzimas, as proteínas solúveis nas folhas, nos colmos e nos grãos em densidades superiores a 30 mil plantas por ha, apresentaram redução de acúmulo deste metabólito no estágio de grão pastoso

em comparação ao estágio de pendoamento. Com esta redução e a presença de proteínas solúveis nos grãos no estágio R4 (Figura 4D), podemos notar que, provavelmente para manter as exigências mínimas necessárias para a ocorrência das reações metabólicas nos grãos, este metabólito foi reduzido nas folhas e nos colmos devido ao carregamento para os grãos.

Nos grãos, assim como para os metabólitos e as enzimas de carboidratos estudados neste trabalho, o acúmulo dos aminoácidos livres totais (Figura 4B) e das proteínas solúveis (Figura 4D) apresentaram menores valores com o aumento da densidade populacional. Relacionando estes metabólitos nitrogenados com a sacarose (Figura 2D) nos grãos podemos notar diminuição em função do aumento da densidade populacional, influenciando negativamente a produção de grãos, conforme podemos notar a relação do acúmulo de massa seca dos grãos por planta na Figura 1B. Entretanto, nos trabalhos de FALEIROS et al. (1996) e de CAZETTA et al. (1999) observa-se que com o aumento da concentração de sacarose no meio de cultura do grão, o endosperma apresentou uma menor concentração de proteínas solúveis e uma maior de aminoácidos livres. Para o caso das proteínas solúveis podemos notar um comportamento semelhante da atividade das enzimas invertases solúvel e ligada, sendo reduzidas em presença de maiores quantidades de sacarose certamente produzida em plantas com menor densidade populacional. Esta semelhança entre o comportamento das proteínas solúveis e a atividade das enzimas invertase solúvel e ligada deve ter ocorrido pelo motivo destas enzimas serem constituintes das proteínas solúveis.

No acúmulo de proteína bruta, observa-se diminuição significativa em função do aumento da densidade, tanto nas folhas como nos colmos das plantas nos estádios de pendoamento (Figura 4E) e grão pastoso (Figura 4F). Nos grãos (Figura 4F), o acúmulo de proteína bruta ocorreu de maneira semelhante ao acúmulo de aminoácidos livres (Figura 4B) e proteínas solúveis (Figura 4D) devido estes serem constituintes e influenciarem no acúmulo de proteína bruta.

A atividade da redutase do nitrato, no estágio de pendoamento, nas folhas das plantas de milho, não foi alterada com o aumento da densidade populacional (Figura 5).

No entanto, no estágio de grão pastoso a atividade foi reduzida em função do aumento populacional. Como é conhecido que a atividade da redutase do nitrato normalmente é influenciada tanto pela temperatura, pelo sombreamento quanto pelo nitrogênio (SILVA, 2005), podemos supor, pelos resultados obtidos neste trabalho, que o fator nitrogênio é o que deve ter influenciando na redução da atividade desta enzima no estágio de grão pastoso. Tal suposição foi feita com base no fato de que neste trabalho utilizou-se uma mesma adubação nitrogenada para as plantas de milho submetidas a diferentes densidades populacionais, é de se esperar que ocorresse uma maior competição das plantas adensadas, por este nutriente, bem como nos resultados encontrados por PURCINO et al. (1998), CAZETTA (1997) e MAJEROWICZ et al. (2002), em que as condições de menor quantidade de nitrogênio por planta induziam redução na atividade da redutase do nitrato nas folhas.

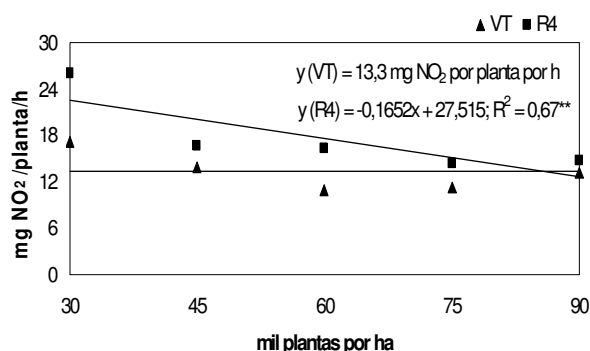


Figura 5. Atividade da redutase do nitrato nas folhas das plantas de milho, nos estádios pendoamento (VT) e grão pastoso (R4), submetidas a cinco densidades populacionais.

Embora a atividade da redutase do nitrato nas folhas das plantas de milho tenha apresentado uma tendência de aumento entre o pendoamento e o grão pastoso (Figura 5), o padrão geral dos dados das diferentes densidades populacionais acompanhou o comportamento dos resultados de proteínas solúveis nas folhas (Figuras 4C e 4D), não ocorrendo alteração no pendoamento, mas redução, no estágio de grão pastoso, com o aumento da densidade populacional.

Observou-se que tanto a massa seca de grãos por planta (Figura 6A) quanto o número de grãos por espiga (Figura 6B) foi menor à medida que se aumentou a densidade de plantas por unidade de área, à semelhança do que ocorreu com a maioria das demais variáveis analisadas (Figuras 1 a 5).

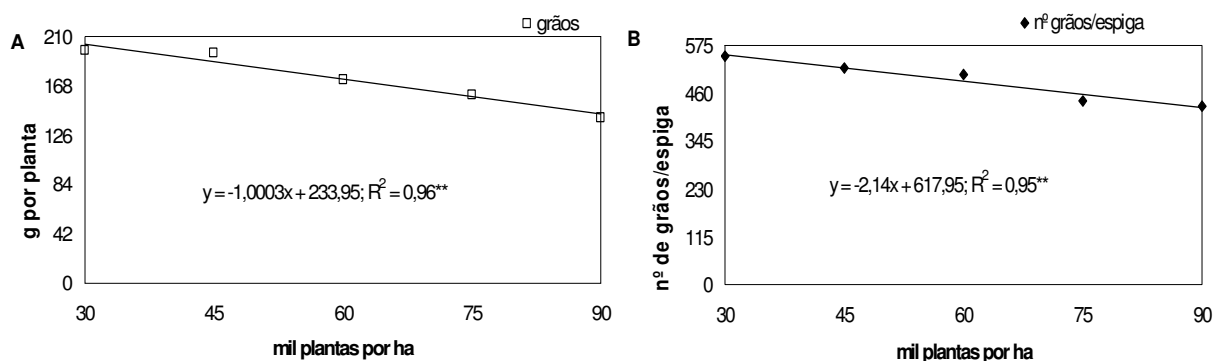


Figura 6. Massa seca de grãos por planta (A) e o número de grãos por espiga (B) de plantas de milho, após a maturidade fisiológica, submetidas a cinco densidades populacionais.

Correlacionando a massa seca de grãos por planta e o número de grãos por espiga da colheita final com os metabólitos ou as atividades enzimáticas nos grãos no estágio de grão pastoso, constata-se uma correlação positiva dos açúcares redutores ($r = 0,76$; $P < 0,05$), sacarose ($r = 0,62$; $P < 0,05$), amido ($r = 0,51$; $P < 0,05$), aminoácidos livres ($r = 0,83$; $P < 0,05$), proteínas solúveis ($r = 0,63$; $P < 0,05$) e proteína bruta ($r = 0,78$; $P < 0,05$) sobre o comportamento da massa seca dos grãos por plantas; e dos açúcares redutores ($r = 0,55$; $P < 0,05$), aminoácidos livres ($r = 0,69$; $P < 0,05$), proteínas solúveis ($r = 0,50$; $P < 0,05$) e proteína bruta ($r = 0,63$; $P < 0,05$) sobre o número de grãos por espiga.

2.4. Conclusões

1. O acúmulo de massa seca nos colmos, folhas e grãos por planta de milho diminui em função do aumento da densidade populacional.
2. As alterações no metabolismo de carbono e nitrogênio das plantas de milho são mais evidentes na fase reprodutiva.
3. O aumento populacional reduz o acúmulo dos metabólitos nos colmos, nas folhas e nos grãos, reduzindo a massa seca de grãos por planta.
4. Nas plantas submetidas a menores densidades populacionais ocorre um ritmo de síntese de açúcares simples maior que o ritmo do uso dos mesmos para a síntese de amido, indicando que a produção das plantas de milho é limitada pela força do dreno.
5. A atividade das enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos é reduzida com o aumento da densidade populacional, como a invertase solúvel na folha e no colmo em VT; a invertase ligada no colmo no pendoamento e na folha, no colmo e nos grãos em R4; e a sacarose sintase no colmo e nos grãos em R4.
6. A elevação na densidade de plantas promove a redução na atividade da redutase do nitrato nas folhas e na produção de aminoácidos livres e proteínas solúveis nas folhas, nos colmos e nos grãos no estágio R4, que reflete em menores acúmulos de proteína bruta e menor número de grãos por espiga.
7. O estudo do metabolismo de carbono e nitrogênio em plantas nas condições de cultivo de campo apresenta semelhanças aos resultados dos experimentos de grãos cultivados *in vitro*, quanto à sacarose, os aminoácidos livres totais e a atividade da sacarose sintase.

2.5. Referências bibliográficas

AVIGAD, G. Sucrose and other disaccharides. In: LOEWUS, F.A.; TANNER, W. (eds.) **Encyclopedia of plant physiology** (new series). Berlin: Springer-Verlag, p.216-347, 1982.

- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, 237p.
- BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.99, p.7-12, 2002.
- BELOW, F.E. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PESSARAKLI, M.; ed. **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 1995, p.275-301.
- BOYLE, M.G.; BOYER, J.S.; MORGAN, P.W. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. **Crop Science**, Madison, v.31, n.5, p.1246-1252, 1994.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.
- BROWN, C.S.; HUBBER, S.C. Reserve mobilization and starch formation in soybean (*Glycine max*) cotyledon in relation to seedling growth. **Plant Physiology**, Rockville, v.72, p.518-524, 1988.
- CAZETTA, J. O. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no metabolismo, no desenvolvimento e na produção de plantas de milho. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997, 121p. (Livre Docência).
- CAZETTA, J.O.; SEEBAUER, J.R.; BELOW, F.E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels. **Annals of Botany**, v.84, p.747-754, 1999.
- DOEHLERT, D.C.; FELKER, F.C. Characterization and distribution of invertase activity in developing maize (*Zea mays*) kernels. **Physiologia Plantarum**, v.70, p.51-57, 1987.
- DOEHLERT, D.C.; KUO, T.M.; FELKER, F.C. Enzymes of sucrose and hexose metabolism in developing kernels of two inbreds of maize. **Plant Physiology**, Rockville, v.86, p.1013-1019, 1998.
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília - DF, 1999.
- FALEIROS, R.R.S.; SEEBAUER, J.R.; BELOW, F.E. nutritionally induced changes in endosperm of shrunken-1 and brittle-2 maize kernels grown in vitro. **Crop Science**. v.36, p947-954, 1996.

- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- FERREIRA, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; PURCINO, A.A.C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.13-17, 2002.
- FIEUW, S.; WILLENBRINK, J. Sucrose synthase and sucrose phosphatase synthase in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L. ssp. *Altissima*). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart-Hohenheim, v.131, p.152-162, 1987.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. FUNEP, Jaboticabal, 2007, 576p.
- GENTRY, L.E.; BELOW, F.E. Maize productivity as influenced by form and availability of nitrogen. **Crop science**, Madison, v.33, p.491-497, 1993.
- JAWORSKI, E.G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Duluth, v.43, p.1274-1279, 1971
- KOCH, K.E. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.47, p.509-540, 1996.
- MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J.M.S.; MEDICI, L.O.; BISON, O.; PEREIRA, M.B.; SANTOS JÚNIOR, U.M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, n.2, p.129-136, 2002.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997.
- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, Washington, v.31, p.426-428, 1959.
- MOORE, S. Amino acids analysis: Aqueous dimethylsulfoxide as solvent for the ninhydrin reaction. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v.243, p.6281-6283, 1968.
- NICHOLAS, J.C.; HAPPER, J.E.; HAGEMAN, R.H. Nitrate reductase activity in soybeans (*Glycyne max*, L. Merrill). I- Effects of light and temperature. **Plant Physiology**, Rockville, v.58, p.731-735, 1976.

- PETERSON, G.L. A simplification of the protein assay method of Lowry et al wich is more generally applicable. **Analytical Biochemistry**, New York, v.83, p.346-356, 1977.
- PURCINO, A.A. C.; ARELLANO, C.; ATHWAL, G. S.; HUBER, S. H. Nitrate effect on carbon and nitrogen assimilating enzymes of maize hybrids representing seven eras of breeding. **Maydica**. v.43, p.83-94, 1998.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC (Boletim Técnico 100), 1997. p.56-57.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. **How a corn plant develops**. Iowa State University of Science and Technology, Ames, 26 p., 1993. (Special Report, 48).
- ROITSCH, T.; BITTNER, M.; GODT, D.E. Induction of apoplástica invertase of *Chenopodium rubrum* by D-glucose and glucose analog and tissue expression suggest a role in sink-source regulation. **Plant Physiology**. v.108, n.1, p.285-294, 1995.
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.1, p.159-168, 2001.
- SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Evolução da tolerância a doenças de híbridos de milho de diferentes épocas em três populações de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p. 7-21, 2000.
- SILVA, C.J. Influência de estresses abióticos na fase reprodutiva do milho. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 2005. 60p. (Doutorado).
- SINGLETARY, G.W.; BELOW, F.E. Growth and composition of maize kernels cultured in vitro with varying supplies of carbon and nitrogen. **Plant Physiology**, Rockville, v.89, p.341-346, 1989.
- SINGLETARY, G.W.; DOEHLERT, D.C.; WILSON, C.M.; MUHTICH, M.J.; BELOW, F.E. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. **Plant Physiology**. v.94, p.858-864, 1990.

TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D. E.; DWYER, L. M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G. A. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York: M. Dekker, 1994. p. 183-236.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. **Crop Science**, Madison, v.25, p.762-769, 1985.

ZINSELMEIER, C; WESTGATE, M.E.; SCHUSSLER, J.R.; JONES, R.J. Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize (*Zea mays* L.) ovaries. **Plant Physiology**. v.107, p.385-391, 1995.

CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DO INCREMENTO POPULACIONAL NA PARTIÇÃO DE BIOMASSA E DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE MILHO

RESUMO: Diferenças das quantidades acumuladas de biomassa e de nutrientes em resposta a alteração do número de plantas por unidade de área, demonstram o potencial genético de um híbrido para o melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis em um agroecossistema. Nesse sentido, este trabalho objetivou estudar a influência do aumento da densidade populacional sobre a redistribuição da biomassa e dos nutrientes em plantas de milho. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, nas condições de Jaboticabal-SP (48°15'18"W e 21°15'22"S), em 23 de novembro de 2005. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, constituído por cinco tratamentos formados por densidades populacionais do híbrido AG 9010 (30, 45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha), com quatro repetições. A adubação de semeadura foi realizada com 320 kg ha⁻¹ da fórmula 05-15-10 e, em cobertura foram aplicados 134 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio, com 60% do total no estágio V4 e 40% no estágio V8. As amostragens e as avaliações de massa seca e de nutrientes em todas as frações da planta foram realizadas nos estádios VT e R4. O aumento da densidade de plantas de 30 para 90 mil plantas por ha promoveu um maior redirecionamento de fotoassimilados, produzidos entre os estádios VT e R4, para os grãos. O incremento no número de plantas por unidade de área promoveu uma redução significativa do acúmulo dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn por planta. A elevação da densidade populacional até 90 mil plantas por ha promoveu uma redução da eficiência de remobilização de N e K, da parte vegetativa para os grãos, e aumento na eficiência do uso dos nutrientes N, P e K.

Palavras-chave: densidade de plantas, fotoassimilados, nutrição, translocação, *Zea mays* L.

Influence of population increase on the partition of biomass and nutrients on corn plants

ABSTRACT: Different quantities of accumulated biomass and nutrients, as response to the modification of the number of plants per area unit, demonstrate the genetic potential of a hybrid for the best use of the nutrients available in an agriculture ecosystem. In this matter, the present work had the objective of studying the influence of population increase on the redistribution of biomass and nutrients on corn plants. The experiment was carried out in a Typical Haplustox, clayey texture, at Jaboticabal – SP (48°18'58" W 21°15'22"S), on the 23 of November of 2005. The experimental design was a complete randomized block, where the plots were represented by five population densities of the hybrid AG 9010 (30, 45, 60, 75 and 90 thousand plants per hectare), with four replications. Sowing fertilization was performed with 320 kg ha⁻¹ of the formula 05-15-10 and side dressing with 134 kg ha⁻¹ of N, by the form of ammonium sulfate, with 60% on V4 stage and 40% on V8 stage. The sampling and evaluations of dry mass and nutrients in all fractions of the plants were done on the VT and R4 stage. The increase on population density, from 30 to 90 thousand plants per hectare, promoted a higher redirection of assimilates, produced between the stages of VT and R4, to the grains. The increase of the number of plants per area unit promoted a significant reduction of the nutrients storage of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn and Zn per plant. The population density increase, until 90 thousand plants per hectare, promoted a reduction on the remobilization efficiency of N and K, from the vegetative parts to the grains, and an increase on the use efficiency of N, P and K nutrients.

Key words: *Zea mays* L., plant density, assimilates, nutrition, translocation.

3.1. Introdução

O milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses de natureza biótica e abiótica. Sua baixa prolificidade e capacidade de compensação efetiva exigem que seu cultivo seja rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a maximização de sua capacidade produtiva (OTEGUI & ANDRADE, 2000). A capacidade de produzir biomassa pelo vegetal pode ser definida por uma relação fisiológica baseada na quantidade de radiação interceptada e em sua eficiência de conversão em massa seca (BERGONCI et al., 2001).

A alteração na relação fonte e dreno de fotoassimilados em plantas de milho podem ser alterados por inúmeros fatores que regem sobre o desenvolvimento das plantas. Fatores estes que podem ser desde uma mudança climática, um ataque de doenças ou insetos pragas danificando a área foliar, ou até mesmo uma simples modificação no sistema de plantio, como o aumento da densidade populacional.

O aumento do número de plantas por unidade de área gera um ambiente extremamente competitivo entre as plantas em produção, resultando em um maior redirecionamento dos assimilados para os grãos (SANGOI et al., 2000). Dentre estes assimilados temos os nutrientes, que nas plantas a sua mobilidade (redistribuição pelos órgãos no floema) varia de elemento para elemento, ou seja, as funções que o nutriente exerce na planta determinam sua mobilidade, e também sofre interferências do meio de cultivo e da espécie/cultivar (MARSCHNER, 1995; BLAIR, 1993; HORST et al., 1993; FERREIRA et al., 2001; PRADO, 2008).

A densidade de plantas é uma prática de estabelecimento da cultura que tem a maior interferência na produtividade do milho, pois pequenas alterações na população podem afetar significativamente o rendimento de grãos (SANGOI & SILVA, 2006). Essa resposta ocorre porque o milho não possui um mecanismo de compensação de espaços tão eficiente quanto às outras *Poaceas*, pois raramente perfilha, possui baixa prolificidade e limitada capacidade de expansão foliar (ANDRADE et al., 1999). Embora seja evidente que ele afeta a produção de grãos, não está clara a forma com que o metabolismo da planta reage à diminuição da fonte de fotoassimilados ou limitação do

tamanho do dreno (TOLLENAAR et al., 1992); há, por isso, a necessidade de mais informações sobre o comportamento da redistribuição de fotoassimilados (MATTER et al., 2004; TOLLENAAR et al., 2000) e de nutrientes em plantas de milho.

O que se sabe é que a redistribuição de um nutriente na planta é processo secundário e se refere a translocação do mesmo desde os locais onde foram depositados pelo movimento da água no xilema (CERDA et al., 1982) até atingir outros órgãos via vasos do floema. Assim, normalmente, os solutos (nutrientes) depois de absorvidos tendem acumular em órgãos com maior taxa de transpiração (folhas maduras) em detrimento a outros órgãos (frutos). Para equacionar isso, as plantas redistribuem nos diferentes órgãos, os nutrientes via vasos do floema. Salienta-se, a literatura que aborda a temática de mobilidade de solutos nas plantas provém da fisiologia vegetal, que focaliza apenas o movimento de fotossintatos.

Sendo assim, foi idealizado este trabalho com o objetivo de avaliar a influência do aumento da densidade populacional sobre a partição da biomassa e dos nutrientes nas frações colmo, folha, palha de espiga, sabugo e grão em plantas de milho.

3.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 2005/2006, em Jaboticabal, SP, Brasil, situado a 48°18'58" de longitude Oeste e 21°15'22" de latitude Sul, com altitude de 575 m e clima, segundo a classificação de Köppen, Cwa.

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado caulínítico hipoférrico de relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). O resultado da análise química na camada de 0-20 cm, segundo RAIJ & QUAGGIO (1983), apresentou os valores de pH em $\text{CaCl}_2 = 6,1$; M.O. = 25 g dm^{-3} ; P(resina) = 84 mg dm^{-3} ; K = $3,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca = $63 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg = $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H + Al = $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; SB = $116,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC = $136,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e V = 85%.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco densidades populacionais (30,

45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha). Utilizou-se o híbrido simples AG 9010 de ciclo precoce, e plantas de porte baixo e folhas eretas, e cultivado em condições de sequeiro.

O manejo do solo foi realizado em sistema convencional (uma aração e duas gradagens). As parcelas foram demarcadas em dez linhas espaçadas de 0,45 m com 6 m de comprimento. Com base na análise química deste solo e recomendações de RAIJ & CANTARELLA (1997), realizou-se a adubação no sulco de semeadura, com 16 kg ha^{-1} de N, 48 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 32 kg ha^{-1} de K_2O , 22 kg ha^{-1} de S e $9,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn. A semeadura foi efetuada manualmente, no dia 23 de novembro de 2005, utilizando-se duas sementes a cada ponto eqüidistantes entre si na linha de semeadura, em distâncias que correspondiam a diferentes densidades populacionais (0,74; 0,49; 0,37; 0,30 e 0,25 m, respectivamente), com posterior desbaste no estágio V3 (três folhas completamente desenvolvidas), deixando-se uma planta em cada ponto. A adubação de cobertura foi realizada com sulfato de amônio, manualmente, aplicando-se 134 kg ha^{-1} de N, sendo parcelado em 60% deste total no estágio V4 e 40% no estágio V8, seguindo as orientações de RAIJ & CANTARELLA (1997).

Nos estádios de pendoamento (VT) e de grão pastoso (R4) da planta de milho (RITCHIE & HANWAY, 1993), com um intervalo de 21 dias, foi amostrada a parte aérea de dez plantas por parcela, para cada época, levadas para o laboratório, separadas em folhas, colmos, palha da espiga, sabugo e grãos. As frações da planta foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até o peso constante. Após a secagem determinou-se por meio de pesagem a massa seca de todas as frações da planta. Após a pesagem foram moídas, e submetidas às análises químicas. O teor de nitrogênio (N) foi determinado pelo método de Kjeldhal; os teores de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) pelo método da digestão nítrico-perclórica, sendo posteriormente detectados por fotometria de chama para K, espectrofotometria de absorção molecular para P, turbidimetria para o S, e por espectrofotometria de absorção atômica para Ca, Mg, Cu, Mn, e Zn, segundo metodologias descritas em MALAVOLTA et al. (1997).

A partir dos teores dos nutrientes e da massa seca foi calculado o acúmulo dos nutrientes em todas as frações constituintes da planta de milho. A remobilização da

massa seca e dos nutrientes foi determinada com base na diferença dos acumulados entre os estádios VT e R4. A eficiência de remobilização (%) dos nutrientes N, P e K, foi determinada com a relação entre a quantidade do nutriente remobilizado e a quantidade do nutriente acumulado em VT, e multiplicado por 100. E, a eficiência do uso (MOLL et al., (1982) de N, P e K foi determinada a partir da relação entre a quantidade de grãos produzidos (kg) e a quantidade do nutriente fornecido via adubo (kg).

Os resultados dos acúmulos obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F em parcelas subdivididas (parcela para as frações da planta e sub-parcela, para as épocas de amostragem) para as frações folha, colmo, palha da espiga e sabugo, e exceto a fração de grãos. A remobilização foi comparada pela média da diferença entre o acumulado nas diferentes frações da planta de milho nos estádios VT e R4. As estimativas de eficiências em função do aumento populacional foram avaliadas com o emprego da análise de regressão polinomial (BANZATTO & KRONKA, 2006).

3.3. Resultados e Discussão

O aumento da densidade populacional de 30 para 90 mil plantas por ha promoveu um maior redirecionamento de fotoassimilados, produzidos entre os estádios de pendoamento e de grão pastoso, para os grãos (Figura 1).

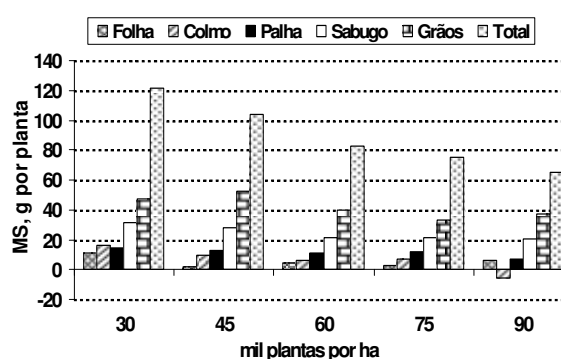


Figura 1. Diferenças no acúmulo de massa seca (MS) em frações das plantas de milho, entre os estádios de pendoamento e grão pastoso, submetidas a cinco densidades populacionais.

As plantas de todos os tratamentos no estágio de grão pastoso apresentaram aumentos de massa seca em todas as suas frações constituintes de maneira significativa ($P < 0,01$), com exceção apenas do colmo (Tabela 1). O valor negativo de massa seca no colmo do tratamento 90 mil plantas por ha (Figura 1) indica que ocorreu uma remobilização de fotoassimilados do colmo para os grãos (Figura 1). Esse fato também foi observado com o aumento populacional de plantas de milho por BARNETT & PEARCE (1983), SANGOI et al. (2000) e SANGOI et al. (2002).

Com base nos dados apresentados na Figura 1, pode-se dizer que a partir de 90 mil plantas por ha, neste período inicial de enchimento dos grãos (VT ao R4), começará a ocorrer remobilização da biomassa das frações estruturais para os grãos.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para o acúmulo de massa seca nas frações das plantas de milho, nos estádios de pendramento e de grão pastoso, submetidas a cinco densidades populacionais.

Análises de variância		Frações da planta de milho					
		Folha	Colmo	Palha da espiga	Sabugo	Grãos	Total
C.V. (%)	DP	13,86	11,77	20,35	10,09	7,68	9,72
	E	12,56	13,06	15,16	14,00	---	4,35
F	DP	6,05**	14,95**	7,87**	51,91*	22,69**	21,89**
	E	7,09*	4,42 ^{ns}	129,09**	1225,72**	---	1487,46**
	DP x E	2,44 ^{ns}	1,59 ^{ns}	2,17 ^{ns}	9,90**	---	22,48**

C.V.: Coeficiente de variação; F: teste F; DP: Densidade populacional; E: Estádios fenológicos.

Para o estudo do acúmulo e da remobilização dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S (Figura 2 e Tabela 2) e dos micronutrientes Mn e Zn (Figura 4 e Tabela 3), verifica-se que cada nutriente possui uma característica, que depende tanto da sua capacidade de mobilidade (MARSCHNER, 1995; BLAIR, 1993; HORST et al., 1993) quanto das suas funções no metabolismo nas plantas (FERREIRA et al., 2001; PRADO, 2008) para serem translocados para os grãos.

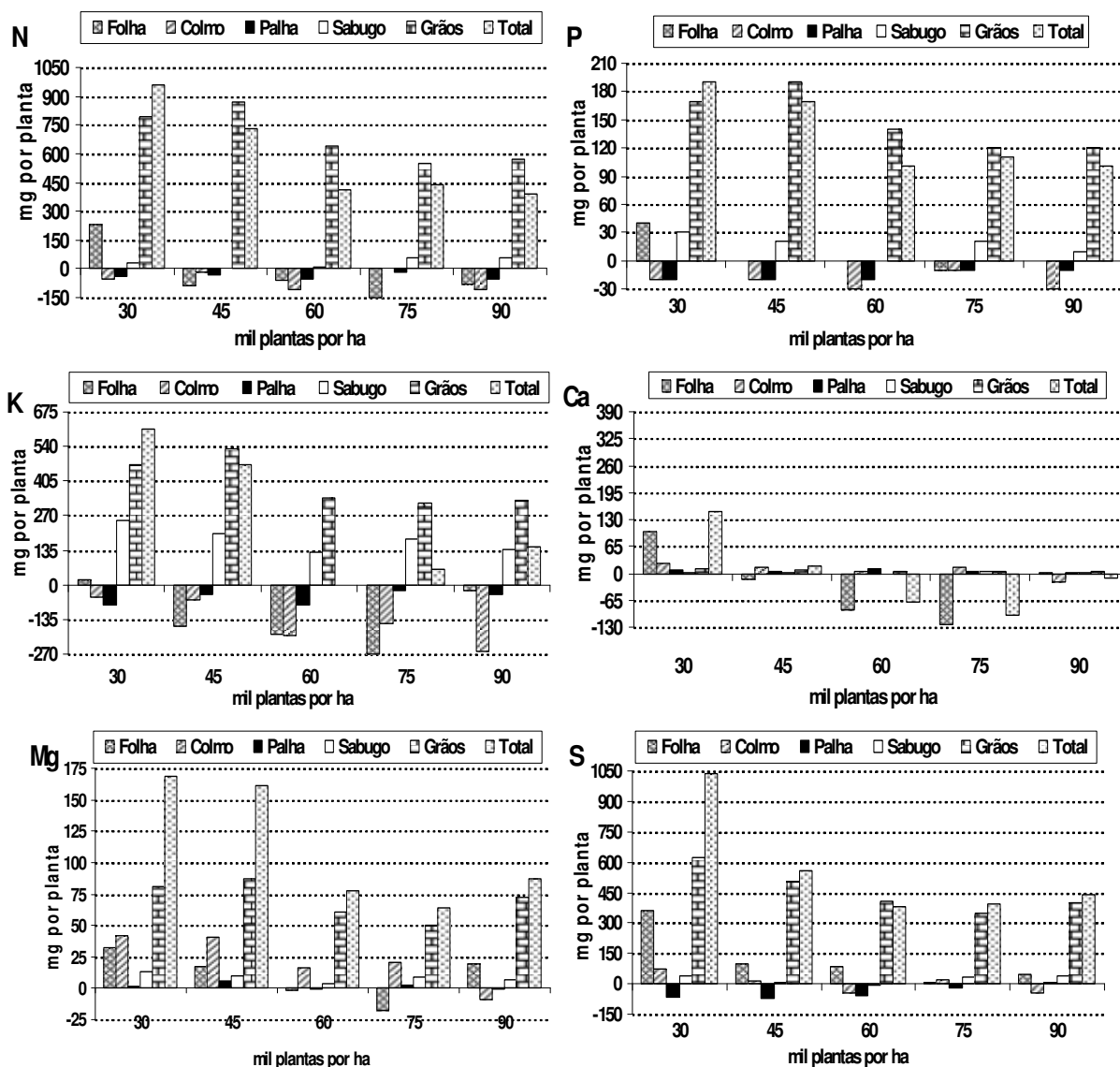


Figura 2. Diferenças no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S (mg por planta) em frações das plantas de milho, entre os estádios de pendoamento e grão pastoso, submetidas a cinco densidades populacionais.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os acúmulos dos macronutrientes em frações das plantas de milho, nos estádios de pendramento e grão pastoso, submetidas a cinco densidades populacionais.

Nutriente	Análises de variância		Frações da planta de milho					
			Folha	Colmo	Palha da espiga	Sabugo	Grãos	Total
N	C.V. (%)	DP	14,14	14,43	18,34	30,06	7,67	10,48
		E	14,72	15,51	18,83	30,14	---	6,34
	F	DP	8,26**	18,89**	9,12**	5,86**	26,29**	20,88**
		E	0,45 ^{ns}	6,78*	19,38**	9,00**	---	196,28**
		DP x E	2,05 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,57 ^{ns}	---	7,07**
P	C.V. (%)	DP	17,47	10,53	27,18	38,11	16,75	13,22
		E	14,64	22,20	21,70	44,56	---	11,92
	F	DP	6,25**	58,65**	6,46**	5,48**	6,32**	20,45**
		E	1,31 ^{ns}	19,42**	45,18**	29,11**	---	148,18**
		DP x E	3,21*	0,55 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,52 ^{ns}	---	3,19*
K	C.V. (%)	DP	15,74	21,05	29,23	21,83	32,79	14,61
		E	9,98	12,67	28,71	26,78	---	7,92
	F	DP	9,13**	4,97*	7,62**	11,17**	2,05 ^{ns}	11,63**
		E	29,89**	16,89**	10,11**	212,94**	---	24,11**
		DP x E	5,80**	1,39 ^{ns}	0,50 ^{ns}	3,18*	---	5,26**
Ca	C.V. (%)	DP	32,99	14,86	38,69	55,86	36,52	20,18
		E	31,30	16,75	51,07	57,32	---	17,30
	F	DP	8,97**	12,55**	3,98*	3,04 ^{ns}	9,72**	13,87**
		E	3,34 ^{ns}	1,96 ^{ns}	7,90*	9,92**	---	0,01 ^{ns}
		DP x E	8,99**	2,19 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,06 ^{ns}	---	9,56**
Mg	C.V. (%)	DP	21,34	14,32	24,91	26,38	22,62	13,61
		E	16,57	12,46	19,76	37,26	---	7,56
	F	DP	3,23 ^{ns}	4,82*	4,75*	9,45**	3,70**	7,33**
		E	6,75*	15,38**	0,95 ^{ns}	60,05**	---	275,22**
		DP x E	5,39**	2,77 ^{ns}	0,63 ^{ns}	2,26 ^{ns}	---	10,70**
S	C.V. (%)	DP	20,71	15,59	33,06	28,58	19,88	14,05
		E	13,79	13,86	27,86	27,30	---	11,28
	F	DP	6,72**	17,16**	2,43 ^{ns}	8,22**	5,85**	17,36**
		E	19,36**	0,54 ^{ns}	17,52**	16,46**	---	140,18**
		DP x E	5,33**	3,07**	2,44 ^{ns}	2,32 ^{ns}	---	6,57**

C.V.: Coeficiente de variação; F: teste F; DP: Densidade populacional; E: Estádios fenológicos.

Na partição do N (Figura 2) podemos notar que no tratamento 30 mil plantas por ha, as plantas deste tratamento obtiverem um aumento de acúmulo de N na folha e no sabugo da espiga. Entretanto nas frações colmo e palha da espiga ocorreu uma redução significativa ($P < 0,01$), indicando que possa ter ocorrido uma remobilização de

N destas frações para os grãos em baixa quantidade, pois a maior parte deve ter sido proveniente de uma absorção e translocação corrente de N para os grãos (Tabela 1) neste período estudado. Nos demais tratamentos, a quantidade de N acumulada nos grãos é superior à quantidade total absorvida do solo pelas plantas neste intervalo de tempo, evidenciando que esta diferença é proveniente da remobilização de N das frações da planta, como a folha, o colmo e a palha da espiga. Segundo Mc CULLOUGH et al. (1994) e UHART & ANDRADE (1995), a variação na disponibilidade de N afeta o desenvolvimento das plantas, já que o N dos grãos é derivado da remobilização do N das folhas e do colmo.

Essa remobilização de N ocorre durante todo o período de desenvolvimento da planta, principalmente entre os órgãos reprodutivos e os vegetativos, na qual há uma predominância da redistribuição de N do colmo e de folhas para as espigas (AUSTIN et al., 1977; DIDONET et al., 2000). O N acumulado nos grãos, por sua vez, é dependente da interação de vários fatores complexos, como taxa de assimilação de N, taxa de crescimento em relação à assimilação de N, e partição do N entre o grão e a biomassa nos estádios de desenvolvimento dos grãos (CREGAN & VAN BERKUM, 1984).

Quanto à eficiência de remobilização de N dos tecidos vegetativos para os grãos, observou-se que decresceu com o aumento da densidade populacional de plantas (Figura 3), indicando um acréscimo mais intenso na produção de órgãos vegetativos em relação aos multiplicativos (grãos). BORGES et al. (2006) obtiveram resultados similares com decréscimos na eficiência de remobilização com o aumento da quantidade de N disponível por planta. Em referência à relação da produção de grãos no estágio de grão pastoso com a quantidade do nitrogênio aplicado no solo, em função do aumento populacional (Figura 3), verificou-se que ocorreu um aumento linear e significativo. Sendo este índice de uso do nitrogênio influenciada pela absorção deste nutriente até o estágio R4 (Figura 2). Resultados semelhantes em tratamentos com menor disponibilidade de N por planta de milho foram também obtidos por MOLL et al. (1982); FERNANDÉZ et al. (1998); FERNANDES et al. (2005) e RAMBO et al. (2007).

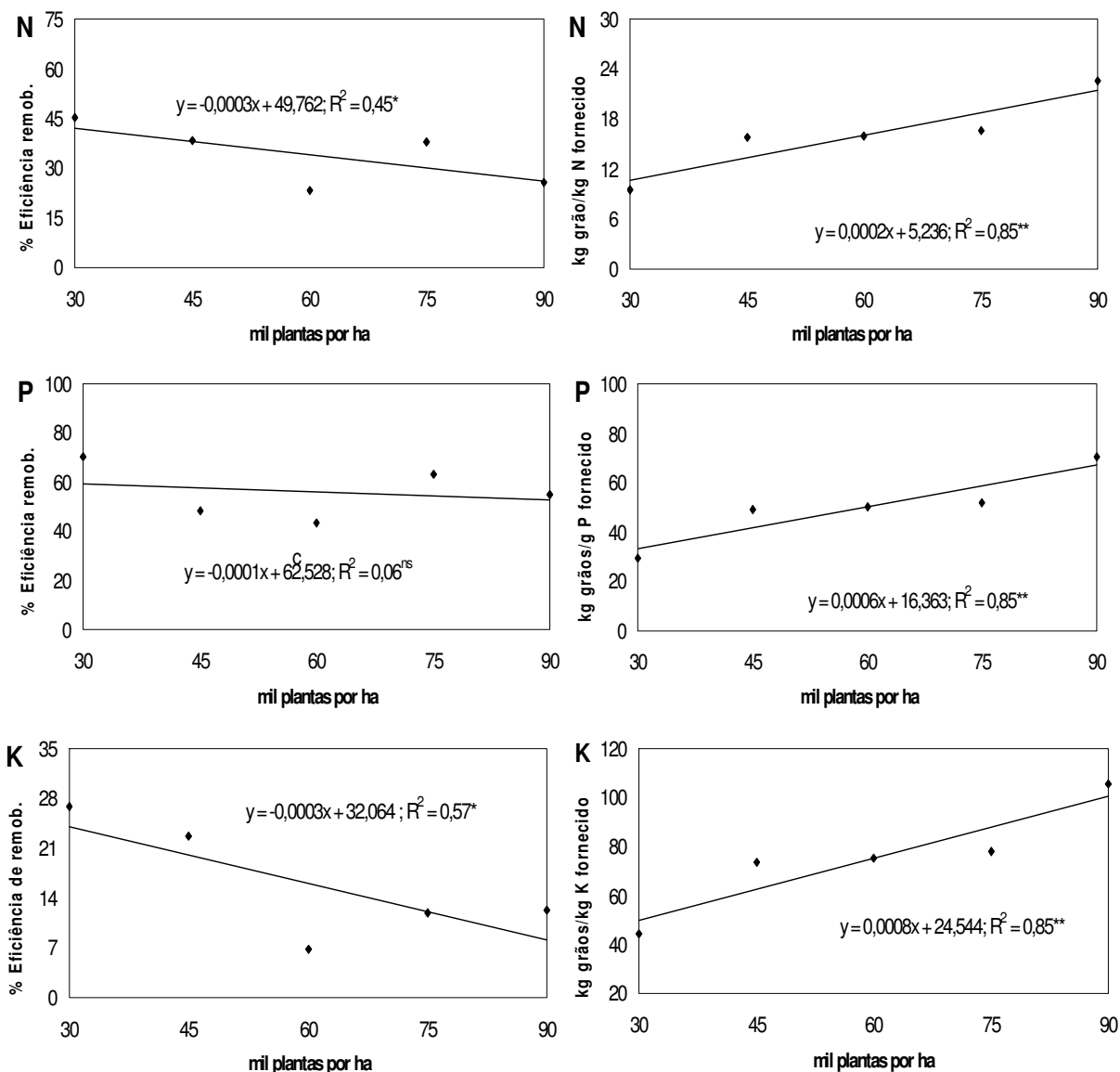


Figura 3. Eficiência de remobilização e do uso de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em plantas de milho submetidas a cinco densidades populacionais.

Para o caso do P (Figura 2) nota-se remobilização semelhante ao do N (Figura 2), com exceção apenas do P no sabugo da espiga, que apresentou um aumento significativo ($P < 0,01$) nas plantas dos tratamentos 30, 45, 75 e 90 mil plantas por ha (Tabela 2). Na eficiência de remobilização de P (Figura 3) não foram observadas diferenças significativas, demonstrando que a variação na densidade populacional de

plantas não influencia na eficiência de remobilização de fósforo do tecido vegetativo para os grãos. Da mesma maneira que para o nitrogênio (Figura 3), a eficiência no uso do fósforo (Figura 3) aumentou com o incremento populacional, sendo este índice influenciado pela absorção destes nutrientes até o estágio R4.

Na diferença da quantidade de K acumulado entre os estádios de pendoamento e de grão pastoso (Figura 2), nota-se uma maior influência do aumento da densidade populacional sobre a remobilização de K nas plantas de milho. Para todos os tratamentos as plantas apresentaram aumentos significativos ($P < 0,01$) nos acúmulos de K no sabugo da espiga (Tabela 2) e reduções significativas ($P < 0,01$) das frações folha, colmo e palha da espiga (Tabela 2), com exceção apenas da folha no tratamento 30 mil plantas por ha. E, como para o N (Figura 2) e para o P (Figura 2), com a elevação da densidade populacional, nota-se que a quantidade de K acumulada nos grãos é superior à quantidade total absorvida do solo pelas plantas neste período, demonstrando que esta diferença é proveniente da remobilização de K das frações folha, colmo e palha da espiga das plantas de milho.

Na eficiência de remobilização de K (Figura 3) observa-se uma redução à medida que se aumentou a população de plantas, como para o N (Figura 3). No entanto, para a eficiência do uso de K, como para o N e o P, verifica-se um aumento com a elevação da densidade populacional. Com isso, em resposta ao aumento da densidade de plantas, nota-se um melhor aproveitamento destes nutrientes, obtendo-se em população de 90 mil plantas por ha, para cada kg do nutriente fornecido via adubação, 23; 71 e 106 kg de grãos, em base seca, no estágio R4, para o caso do nitrogênio, do fósforo e do potássio (Figura 3), respectivamente.

Para os demais nutrientes não foi possível avaliar estes índices de eficiência, uma vez que as quantidades de alguns são poucos significativos e outros não foram aplicados via adubo.

No caso do Ca (Figura 2), estudando o seu acúmulo em cada fração da planta de milho, verifica-se que o aumento da densidade populacional reduziu significativamente ($P < 0,01$) o acúmulo de Ca em toda a planta (Figura 2 e Tabela 2). No tratamento com 30 mil plantas por ha, nota-se que até o estágio de grão pastoso as plantas acumularam

Ca em todas as frações da planta. Entretanto, nos demais tratamentos verificam-se um aumento no acúmulo de Ca na palha da espiga, no sabugo e nos grãos dos tratamentos 45, 75 e 90 mil plantas por ha, e no colmo dos tratamentos 45, 60 e 75 mil plantas por ha. E quanto aos valores negativos contidos na Figura 2, não significam remobilização, pois este nutriente é muito pouco móvel no floema (EPSTEIN, 1975), e sim significa ao aumento significativo da massa seca nestas frações (Figura 1 e Tabela 1) e redução significativa da absorção deste elemento após o pendoamento (HIROCE et al., 1989).

Na partição do Mg (Figura 2) nota-se que nos tratamentos 30 e 45 mil plantas por ha, as plantas apresentaram um aumento significativo no acúmulo de Mg ($P < 0,01$) em todas as frações constituintes da planta (Tabela 2). Entretanto, a partir da população de 60 mil plantas por ha, ocorreu uma remobilização de Mg das frações da folha e da palha da espiga nas plantas dos tratamentos 60 e 75 mil plantas por ha, e dos colmos e da palha da espiga das plantas submetidas a maior população, para os grãos.

Um outro macronutriente que foi afetado pelo incremento populacional foi o S (Figura 2). O aumento do número de plantas por unidade de área promoveu uma redução significativa do acúmulo de S por planta (Figura 2 e Tabela 2). E quanto à remobilização do S para os grãos, embora se saiba que o S é um elemento pouco móvel no floema (EPSTEIN, 1975), de acordo com os resultados apresentados na Figura 2, nota-se que provavelmente deve ter ocorrido uma contribuição do S da palha da espiga para os grãos nos tratamentos 30, 45, 60 e 75 mil plantas por ha, e do colmo nas plantas dos tratamentos 60 e 90 mil plantas por ha. Segundo NAEVE & SHIBLES (2005), a folha é a fração que menos contribui para satisfazer as exigências dos grãos. As folhas novas dependem mais do S absorvido, que do S armazenado, e o contrário ocorrem com as frações colmos, palha e sabugo da espiga em desenvolvimento e os grãos. Assim, os colmos e as palha e o sabugo das espigas fazem um papel importante no armazenamento do S para sua mobilização aos grãos.

Com relação aos micronutrientes (Figura 4), o aumento do número de plantas por unidade de área reduziu significativamente ($P < 0,01$) o acúmulo de Mn e Zn por planta (Figura 4 e Tabela 3).

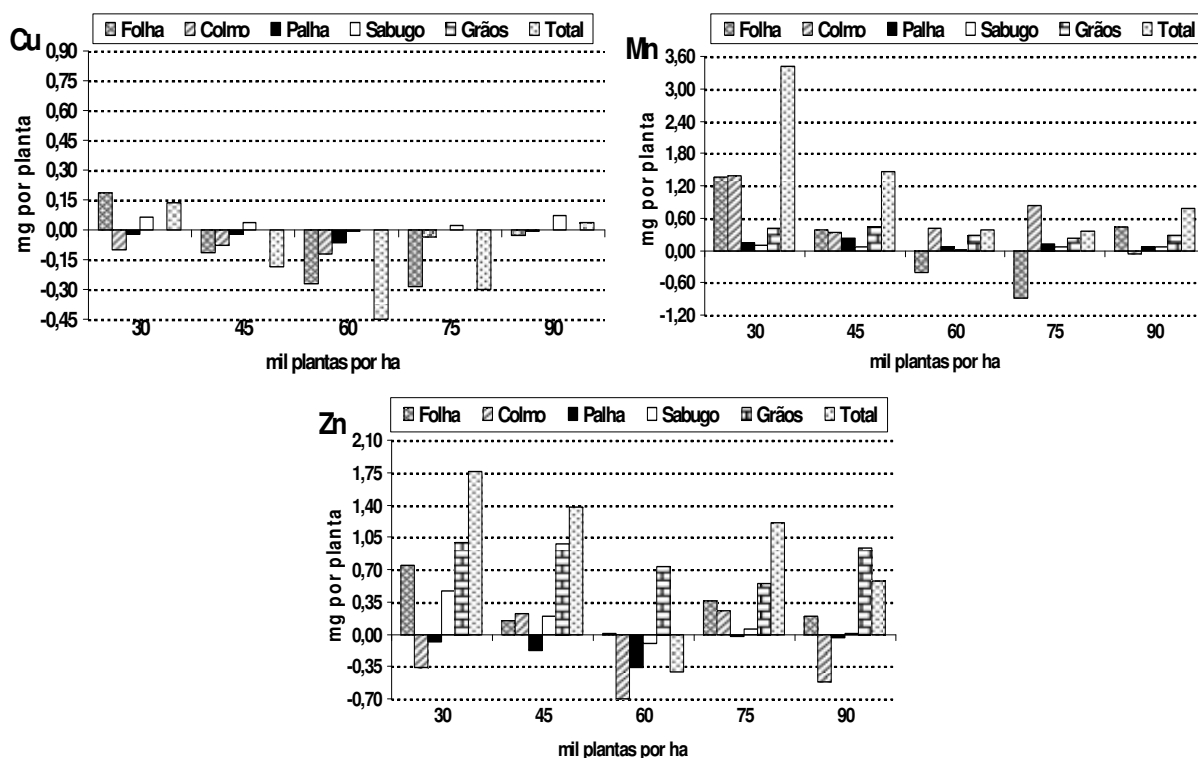


Figura 4. Diferenças das quantidades de Cu, Mn e Zn (mg por planta) em frações das plantas de milho, nos estádios de pendoamento e de grão pastoso, submetidas a cinco densidades populacionais.

O Cu (Figura 4 e Tabela 3) não foi detectado, pelo método da digestão nítrico-perclórica e espectrofotometria por absorção atômica, nos grãos no estágio de grão pastoso. Na Figura 4 observa-se valores negativos de acúmulo de Cu, devido as plantas de milho terem absorvido toda a quantidade requerida deste micronutriente até o estágio VT, principalmente a partir da densidade de 45 mil plantas por ha, e em função do aumento da massa seca em todas as frações da planta no estágio de grão pastoso (Figura 1), resultando em menores quantidades de Cu por massa seca no estágio de grão pastoso. Nas plantas submetidas a menor densidade populacional (30 mil plantas por ha), nota-se que ocorreu absorção de Cu entre os estádios de pendoamento e grão pastoso, pelo motivo nestes tratamentos existir uma maior relação deste micronutriente disponível por planta. Entretanto, nas plantas desenvolvidas no

tratamento com 90 mil plantas por ha, nota-se uma remobilização de Cu apenas da fração folha (Figura 4 e Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os acúmulos dos micronutrientes em frações das plantas de milho, nos estádios de pendoamento e de grão pastoso, submetidas a cinco densidades populacionais.

Nutriente	Análises de variância		Frações da planta de milho					
			Folha	Colmo	Palha da espiga	Sabugo	Grãos	Total
Cu	C.V. (%)	DP	27,91	18,05	47,38	45,51	---	25,94
		E	25,98	29,88	50,52	49,60	---	22,61
	F	DP	9,04**	61,17**	2,98 ^{ns}	1,87 ^{ns}	---	26,93**
		E	32,75**	29,76**	35,85**	72,58**	---	12,56**
		DP x E	5,49**	2,86 ^{ns}	1,92 ^{ns}	0,56 ^{ns}	---	6,32**
Mn	C.V. (%)	DP	23,98	15,62	28,20	26,87	28,26	17,48
		E	18,95	20,61	27,80	28,14	---	14,54
	F	DP	7,96**	14,32**	6,43**	13,99**	4,22*	13,26**
		E	1,37 ^{ns}	12,33**	13,88**	35,65**	---	22,90**
		DP x E	6,13*	2,23 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,42 ^{ns}	---	4,57*
Zn	C.V. (%)	DP	52,52	69,29	82,12	42,23	35,54	30,25
		E	78,51	75,43	106,67	57,51	---	30,07
	F	DP	3,66**	2,76 ^{ns}	4,43*	20,13**	1,64 ^{ns}	9,49**
		E	3,96 ^{ns}	2,89 ^{ns}	1,57 ^{ns}	11,03**	---	21,00**
		DP x E	0,77 ^{ns}	2,37 ^{ns}	0,31 ^{ns}	6,32**	---	3,71*

C.V.: Coeficiente de variação; F: teste F; DP: Densidade populacional; E: Estádios fenológicos.

Na remobilização de Mn (Figura 4) verificam-se apenas valores negativos de acúmulos nas folhas das plantas dos tratamentos 60 e 75 mil plantas por ha e no colmo das plantas do tratamento com a maior densidade populacional. Entretanto, para o Zn (Figura 4), por meio da diferença do acumulado nas frações constituintes da planta milho entre os estádios de pendoamento e grão pastoso, nota-se que o Zn contido na palha da espiga apresentou valores negativos de acúmulos nas plantas de todos os tratamentos, mesmo com o aumento de massa seca (Figura 1). E ainda, nos colmos das plantas dos tratamentos 30, 60 e 90, e no sabugo das plantas do tratamento 60 mil plantas ha⁻¹, apresentaram redução da quantidade de Zn no estágio de grão pastoso. Indicando estas frações da planta, ser fornecedoras de Zn para os grãos.

Assim, com base nos resultados de redistribuição dos nutrientes nas plantas de milho, submetidas a diferentes densidades populacionais (Figuras 2 e 3) e em concordância com MALAVOLTA (2005), as plantas quando bem nutridas como para os tratamentos com as menores densidades populacionais, a redistribuição dos nutrientes é baixa, e a exigência dos frutos podem serem satisfeitos com as reservas do meio e não da própria planta.

3.4. Conclusões

1. O aumento da densidade de plantas de 30 para 90 mil plantas por ha promove um maior redirecionamento de fotoassimilados, produzidos entre os estádios VT e R4, para os grãos.
2. O incremento no número de plantas por unidade de área promove uma redução significativa do acúmulo dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn por planta.
3. A elevação da densidade populacional até 90 mil plantas por ha promove uma redução da eficiência de remobilização de N e K, da parte vegetativa para os grãos, e aumento na eficiência do uso dos nutrientes N, P e K.

3.5. Referências bibliográficas

- ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART, S.O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 453-459, 1999.
- AUSTIN, R.B.; FORD, M.A.; EDRICH, J.A.; BLACKWELL, R.D. The nitrogen economy of winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v.88, p.59-167, 1977.
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, 237p.
- BARNETT, K.H.; PEARCE, R.B. Source sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. **Crop Science**. Madison, v.23, n.2, p.294-299, 1983.

- BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.941-948, 2001.
- BLAIR, G. Nutrient efficiency: what do we really mean? In: RANDALL, P.J.; DELHAUTZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. eds. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht, Kluwer Academic, 1993. p.205-213. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50)
- BORGES, E.A.; FERNANDES, M.S.; LOSS, A.; SILVA, E.E. da; SOUZA, S.R. de. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.3, p.278-286, 2006.
- CERDA, A.; CARO, M.; SANTA CRUZ, F. Redistribucion de nutrientes en limonero verna determinados por un método indirecto. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, v.41,n.3, p.697-704, 1982.
- CREGAN, P.B.; VAN BERKUM, P. Genetic of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, v.67, p.97-110, 1984.
- DIDONET, A.D.; LIMA, O.S.; CANDATEN, A.A.; RODRIGUES, O. Realocação de nitrogênio em trigo submetido a inoculação de *AZOSPIRILLUM*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.2, p.401-411, 2000.
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília - DF, 1999.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p. (Tradução e notas de Eurípedes Malavolta).
- FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.2, p.180-194, 2005.
- FERNANDÉZ, J.E., MURILLO, J.M., MORENO, F., CABRERA, F.; FERNANDÉZ-BOY, E. Reducing fertilization for maize in southwest Spain. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, p.2829-2840, 1998.

- FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; ROBERTO, P.; PEREIRA, G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.131-138, 2001
- HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**. Campinas: IAC, 1989. 24p. (IAC. Boletim Técnico, 17).
- HORST, W.J.; ABDOU, M.; WIESLER, F. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.155/156, p.293-296, 1993.
- MALAVOLTA, E. Potássio: absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. Eds. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS, 2005, p.179-238.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MATTER, U.F.; SILVA, C.J.; CAZETTA, J.O. Alocação de fotoassimilados em milho submetido a diferentes proporções de folhas e grãos. **Revista Ceres**. v.51, n.298, p.741-753, 2004.
- Mc CULLOUGH, D.E.; GIRARDIN, P.H.; MIHAJLOVIC, M., AGUILERA, A.; TOLLENAAR, M. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new hybrid. **Canadian Journal of Plant Science**. Ottawa, v.77, p471-477, 1994.
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.562-564, 1982.
- NAEVE, S.L.; SHIBLES, R.M. Distribution and mobilization of sulfur during soybean reproduction. **Crop Science**, v.45, p.2540-2551, 2005.
- OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F.H. New Relationships Between Light Interceptions, Ear Growth, and Kernel Set in Maize. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). **Physiology**

and modeling kernel set in maize. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.89-102. (Special Publication, 29).

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas.** 1.ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. v.1. 300p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC (Boletim Técnico 100), 1997. p.56-57.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

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

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. **How a corn plant develops.** Iowa State University of Science and Technology, Ames, 26 p., 1993. (Special Report, 48).

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D.M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados em diferentes densidades de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p.17-21, 2000.

SANGOI, L.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, 2002.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da. **Densidade e arranjo populacional em milho.** 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Densidade/Index.htm>. Acesso em: 14/2/2008.

TOLLENAAR, M., DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, v.32, p.432-8, 1992.

TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; MA, B.L. Physiological parameters associated with differences in kernel set among maize hybrids. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). **Physiology and Modeling Kernel Set in Maize.** Madison, Crop

Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.115-130. (Special Publication Number 29).

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in mayze. Carbon-Nitrogen interaction effects on Kernel number and grain yield. **Crop Science**. v.35, p.1384-1389, 1995.

CAPÍTULO 4 – CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS A DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

RESUMO: O incremento na população de plantas é um recurso para aumentar a produtividade e o aproveitamento de nutrientes na cultura do milho. Com o objetivo de avaliar a influência de diferentes populações de plantas sobre as características agronômicas e a exportação de nutrientes, conduziram-se um experimento com cinco densidades populacionais do híbrido AG 9010 (30, 45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha), em um Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, nas condições de Jaboticabal-SP (48°15'18"W e 21°15'22"S), em 23 de novembro de 2005. A adubação de semeadura foi realizada com 320 kg ha⁻¹ da fórmula 05-15-10 e, em cobertura foram aplicados 134 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio, com 60% do total no estágio V4 e 40% no estágio V8. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. O incremento da densidade populacional aumentou na altura das plantas e inserção da espiga, diminuiu o número de espigas por planta, o número de grãos por espiga, da massa de mil grãos e da massa de grãos por espiga. O índice de colheita não foi influenciado pela população de plantas. A produtividade de grãos aumentou à medida que se aumentou até a população de 90 mil plantas por ha, mas a diferença foi pouco acentuada entre 75 e 90 mil plantas por ha. As exportações dos nutrientes foram superiores em elevadas densidades de semeadura.

Palavras-chave: *Zea mays* L., características agronômicas, produção de grãos, acúmulo de nutrientes, população de plantas.

Agronomic characteristics and nutrients exportation on corn plants submitted to different population densities

ABSTRACT: The increase on plant population is a resource to increase yield and nutrient use, in corn crops. With the objective of evaluating the influence of different plant populations on agronomic characteristics and nutrient exportation, an experiment with five population densities of the hybrid AG 9010 (30, 45, 60, 75 and 90 thousand plants per hectare) was carried out in a Typical Haplustox, clayey texture, at Jaboticabal – SP (48°18'58" W 21°15'22"S), on the 23 of November of 2005. Sowing fertilization was performed with 320 kg ha⁻¹ of the formula 05-15-10 and side dressing with 134 kg ha⁻¹ of N, by the form of ammonium sulfate, with 60% on V4 stage and 40% on V8 stage. The experimental design was a complete randomized block, with four replications. The increase on the population density raised the plant height and insertion of the first ear, decreased the number of ears per plant, number of grains per ear, a thousand grains mass and grain mass per ear. The harvest index was not influenced by plant population. Grain yield increased until the population density rose to 90 thousand plants per hectare, but the difference between 75 and 90 thousand plants per hectare was not very significant. Nutrient exportations were superior on high sowing densities.

Key words: *Zea mays* L., agronomic characteristics, grain production, nutrient storage, plant population.

4.1. Introdução

Entre as práticas e técnicas empregadas para a obtenção de maior produção de milho, a escolha da densidade ideal de semeadura é uma das mais importantes (ALMEIDA et al., 2000). De modo geral, a baixa produtividade das lavouras de milho, no Brasil, é devido a uma densidade populacional de plantas não adequada associada aos fatores ligados à fertilidade dos solos e ao arranjo de plantas na área (FANCELLI & DOURADO NETO, 2004).

O milho é a gramínea mais sensível à variação na densidade de plantas. Para cada sistema de produção, existe uma população que maximiza o rendimento de grãos (CRUZ et al., 2007). A população ideal para maximizar o rendimento de grãos de milho varia de 30 a 90 mil plantas por ha, dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo da cultivar, época de semeadura e espaçamento entre linhas (FORNASIERI FILHO, 2007). O número ideal de plantas por área é variável, uma vez que a planta de milho altera o rendimento de grãos de acordo com o grau de competição intra-específica proporcionado pelas diferentes densidades de plantas (SILVA et al., 1999). Vários pesquisadores consideram o próprio genótipo como principal determinante da densidade de plantas (SILVA et al., 1999).

O espaçamento entre as linhas de semeadura e o número de plantas por metro (na linha de semeadura), têm sido discutidos com maior frequência pela maior ou menor adaptação da cultura ao ambiente decorrente das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais (menor altura de plantas e de inserção das espigas, maior ou menor angulação das folhas, e maior processo produtivo, principalmente), como forma de maximizar a produção de grãos pela otimização do uso de fatores de produção como água, luz e nutrientes, disponíveis num agroecossistema (PALHARES, 2003), e ainda, maior uniformidade das raízes e redução da temperatura do solo (SHARRAT e McWILLIAMS, 2005).

Na literatura é possível de se encontrar diversas modificações nas características agronômicas das plantas de milho submetidas a diferentes densidades populacionais. AMARAL FILHO et al. (2005), por exemplo, estudando espaçamentos, densidades e adubações nitrogenadas na cultura de milho, verificaram aumento da massa de grãos, da produtividade e do teor de proteína com o aumento populacional das plantas de milho; entretanto, obtiveram redução do número de grãos por espiga.

Com o aumento da produtividade de grãos, proporcionada pela melhor distribuição de plantas por unidade de área, é possível que também ocorra uma maior exportação de nutrientes presentes no solo. Para MAGGIO (2006), a habilidade em retirar os nutrientes do solo e as quantidades requeridas varia não só com a cultivar, mas também com o grau de competição existente.

Sendo assim, foi idealizado este trabalho com o objetivo de avaliar a influência de diferentes densidades populacionais de plantas, sobre a exportação de nutrientes, a produtividade e os componentes de produção de um híbrido de milho nas condições ambientais de Jaboticabal-SP.

4.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 2005/2006, em Jaboticabal, SP, Brasil, situado a 48°18'58" de longitude Oeste e 21°15'22" de latitude Sul, com altitude de 575 m e clima, segundo a classificação de Köppen, Cwa.

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado caulínítico hipoférrico de relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). O resultado da análise química na camada de 0-20 cm, segundo RAIJ e QUAGGIO (1983), apresentou os valores de pH em $\text{CaCl}_2 = 6,1$; M.O. = 25 g dm^{-3} ; P(resina) = 84 mg dm^{-3} ; K = $3,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca = $63 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg = $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H + Al = $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; SB = $116,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC = $136,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e V = 85%.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco densidades populacionais (30, 45, 60, 75 e 90 mil plantas por ha). Utilizou-se o híbrido simples AG 9010 de ciclo precoce, plantas de porte baixo e folhas eretas, e cultivado em condições de sequeiro.

O manejo do solo foi realizado em sistema convencional (uma aração e duas gradagens). As parcelas foram demarcadas em dez linhas espaçadas de 0,45 m com 6 m de comprimento. Com base na análise química deste solo e recomendações de RAIJ & CANTARELLA (1997), realizou-se a adubação no sulco de semeadura, com 16 kg ha^{-1} de N, 48 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 32 kg ha^{-1} de K_2O , 22 kg ha^{-1} de S e $9,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn. A semeadura foi efetuada manualmente, no dia 23 de novembro de 2005, utilizando-se duas sementes a cada ponto equidistantes entre si na linha de semeadura, em distâncias que correspondiam a diferentes densidades populacionais (0,74; 0,49; 0,37; 0,30 e 0,25 m, respectivamente), com posterior desbaste no estágio V3 (três folhas completamente desenvolvidas), deixando-se uma planta em cada ponto. A adubação de

cobertura foi realizada com sulfato de amônio, manualmente, aplicando-se 134 kg ha^{-1} de N, sendo parcelado em 60% deste total no estágio V4 e 40% no estágio V8, seguindo as orientações de RAIJ & CANTARELLA (1997).

As determinações realizadas foram: altura de plantas e de inserção de espigas, plantas acamadas, plantas quebradas, prolificidade, índice de colheita, número de grãos por espiga, massa de mil grãos, massa de grãos por espiga e a produtividade.

A estatura da planta e da inserção da espiga foram medidas em 10 plantas (tomadas ao acaso dentro da área útil) considerando-se, respectivamente, as distâncias do colo da planta ao ápice do pendão e ao ponto de inserção da primeira espiga formada no colmo. As plantas acamadas e quebradas foram contadas na área útil momentos antes da colheita, considerando acamadas aquelas que apresentaram um ângulo de inclinação superior a 45° com a vertical e quebradas aquelas que estavam com o colmo quebrado abaixo da espiga.

O número de espigas por planta foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas e o número de plantas existentes na área útil. A massa de mil grãos foi determinado pela contagem manual, pesagem e correção da umidade para 13%. O número de grãos por espiga e a massa de grãos por espiga foram determinados em 10 espigas escolhidas aleatoriamente dentre as que foram colhidas em cada parcela. O índice de colheita foi obtido com a relação entre a produção de massa seca de grãos e a produção de massa seca da planta (menos raízes), expresso em porcentagem (%).

A produtividade de grãos foi estimada por meio da extrapolação da produção colhida na área útil das parcelas para um hectare, quando os grãos atingiram o teor de umidade de 13% no campo. A colheita e a debulha das espigas de milho foram realizadas manualmente.

Após as avaliações físicas, os grãos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até o peso constante, moídos, e submetidos às análises químicas. O teor de nitrogênio (N) foi determinado pelo método de Kjeldhal; os teores de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) pelo método da digestão nítrico-perclórica, sendo posteriormente detectados por fotometria de chama para K, espectrofotometria de absorção molecular para P,

turbidimetria para o S, e por espectrofotometria de absorção atômica para Ca, Mg, Cu, Mn, e Zn, segundo metodologias descritas em MALAVOLTA et al. (1997). Com os resultados, foram estimadas as quantidades exportadas destes nutrientes por área, pelos grãos de milho.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F em número igual de repetições. As características agronômicas e as quantidades dos nutrientes exportadas pelos grãos em função das diferentes densidades populacionais foram avaliadas com o emprego da análise de regressão polinomial (BANZATTO & KRONKA, 2006).

4.3. Resultados e Discussão

Os resultados das avaliações das características agronômicas das plantas de milho submetidas a crescentes densidades populacionais encontram-se apresentados na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as características agronômicas de plantas de milho submetidas a diferentes densidades populacionais.

Características agronômicas	Média geral	C.V. (%)	Quadrado médio do Resíduo	Desvio padrão	Fc
Altura de planta (cm)	230,71	1,56	13,00	3,61	14,39**
Altura de espiga (cm)	95,73	3,69	12,50	3,54	42,22**
Prolificidade	1,09	4,45	0,002	0,05	19,59**
Índice de colheita (%)	47,00	4,53	4,53	2,13	6,93*
Número de grãos/espiga	490	7,44	1325,21	36,40	31,10**
Massa de mil grãos	306,57	5,76	311,69	17,66	14,16**
Massa de grãos/espiga	146,93	6,61	94,29	9,71	65,25**
Produtividade de grão (kg ha ⁻¹)	9.986,19	5,28	278.348,89	527,59	19,27**

C.V.: Coeficiente de variação; Fc: valor do F calculado.

A altura das plantas e a de inserção da primeira espiga (Figura 1A) aumentaram à medida que se adensaram as plantas de milho. Isso ocorre devido à maior

competitividade das plantas por luz, que ocasiona um incremento no desenvolvimento das plantas. Tais resultados corroboram diversos trabalhos (SANGOI, 2001; SANGOI et al., 2002; SCHEEREN et al., 2004). Apesar do aumento no porte das plantas, não houve plantas acamadas e/ou quebradas na área experimental, indicando que este híbrido se adapta à condição de adensamento.

Para os componentes da produção de grãos da cultura do milho, a prolificidade (Figura 1B), o índice de colheita (Figura 1C), o número de grãos por espiga (Figura 1D), a massa de mil grãos (Figura 1E) e massa de grãos por espiga (Figura 1F), diminuíram com o aumento da densidade populacional. As plantas submetidas a população de 60 mil plantas por ha apresentaram o maior índice de colheita, com exceção do índice de colheita, que não sofreu variação. AMARAL FILHO et al. (2005) e PENARIOL et al. (2003), também não obtiveram diferença estatística para a massa de mil grãos, mas observaram redução do número de grãos por espiga em maiores densidades populacionais com espaçamentos de 0,60 e 0,80 m. Segundo SANGOI et al. (2000), as plantas espaçadas eqüidistantes entre si competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores, favorecendo o melhor desenvolvimento das espigas. Entretanto, o maior tamanho da espiga em menores densidades não é suficiente para compensar a produtividade de grãos (Figura G) obtido com o aumento da densidade populacional de plantas de milho.

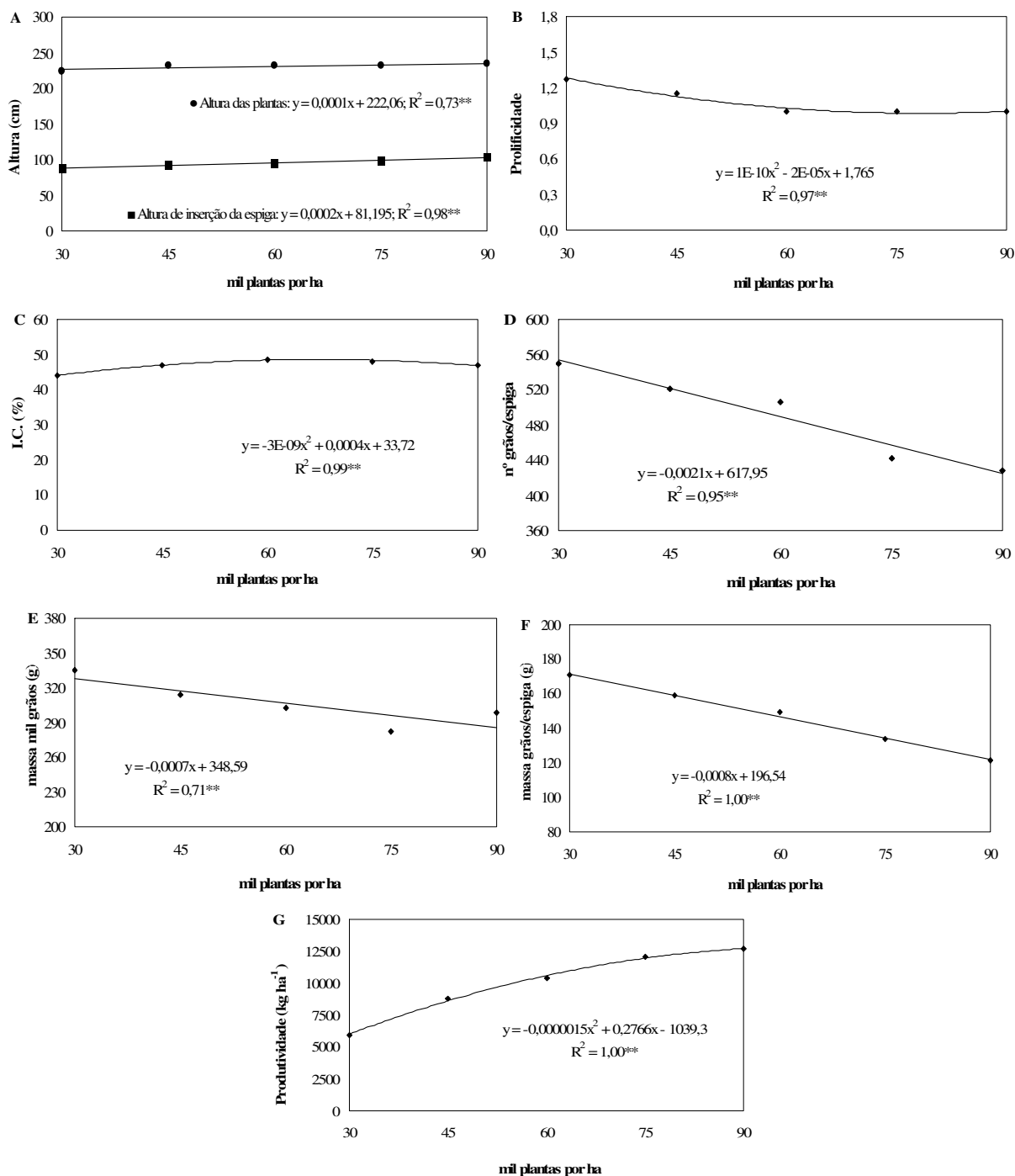


Figura 1. Altura de plantas e de inserção da espiga (A), prolificidade (B), índice de colheita (C), número de grãos por espiga (D), massa de mil grãos (E), massa de grãos por espiga (F) e a produtividade (G), de plantas de milho submetidas a cinco densidades populacionais. Jaboticabal, Estado de São Paulo, 2006.

A produtividade de grãos de milho aumentou conforme se adensou até 90 mil plantas por hectare (Figura 1G). O incremento da produção de milho a partir do aumento do número de plantas por hectare assemelhou-se com os obtidos por DOURADO NETO et al. (2003); AMARAL FILHO et al. (2005); PENARIOL et al. (2003); SCHEEREN et al. (2004), porém, em quantidades específicas para cada região e sistema de cultivo. O ganho de produtividade com o aumento da população ocorreu provavelmente devido a cultivar utilizada (AG 9010) se adaptar a cultivos com densidades populacionais superiores a 60 mil plantas por ha. Esse tipo de adaptação é característica dos híbridos que apresentam ciclo superprecoce, folhas eretas, baixo porte e boa tolerância a acamamento e às doenças foliares (SCHEEREN et al., 2004). Inclusive, não se observou ataque importante de doenças e nem diferenças aparentes nas plantas em diferentes densidades.

O bom nível de fertilidade do solo em que se conduziu o trabalho, associado à distribuição pluviométrica regular na fase reprodutiva da cultura (APÊNDICE), contribuíram para a alta resposta da produtividade de grãos ao incremento da população, tendência também reportada por SILVA et al. (1999), ALMEIDA et al. (2000) e SANGOI (2001).

Para o estudo da exportação dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S (Figura 2 e Tabela 2) e dos micronutrientes Cu, Mn e Zn (Figura 3 e Tabela 2), verifica-se que as densidades populacionais em que foram alcançados as maiores produtividades (Figura 1G), também proporcionaram maior exportação dos nutrientes pelos grãos (Figuras 2 e 3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as quantidades exportadas dos macronutrientes (kg ha^{-1}) e dos micronutrientes (g kg^{-1}) pelos grãos de plantas de milho submetidas a cinco densidades populacionais.

Nutriente	Média geral	C.V. (%)	Quadrado médio do Resíduo	Desvio padrão	Fc
Nitrogênio (N)	126,13	16,71	444,37	21,08	67,60**
Fósforo (P)	25,99	27,10	49,59	7,04	26,88**
Potássio (K)	54,50	29,68	261,66	16,18	18,30**
Cálcio (Ca)	0,97	22,84	0,05	0,22	28,83**
Magnésio (Mg)	14,27	25,49	13,23	3,64	47,07**
Enxofre (S)	95,25	30,66	853,09	29,21	11,09**
Cobre (Cu)	11,54	30,93	12,75	3,57	5,14*
Manganês (Mn)	50,14	26,91	182,03	13,49	19,11**
Zinco (Zn)	160,76	29,81	2.296,27	47,91	29,09**

C.V.: Coeficiente de variação; Fc: valor do F calculado.

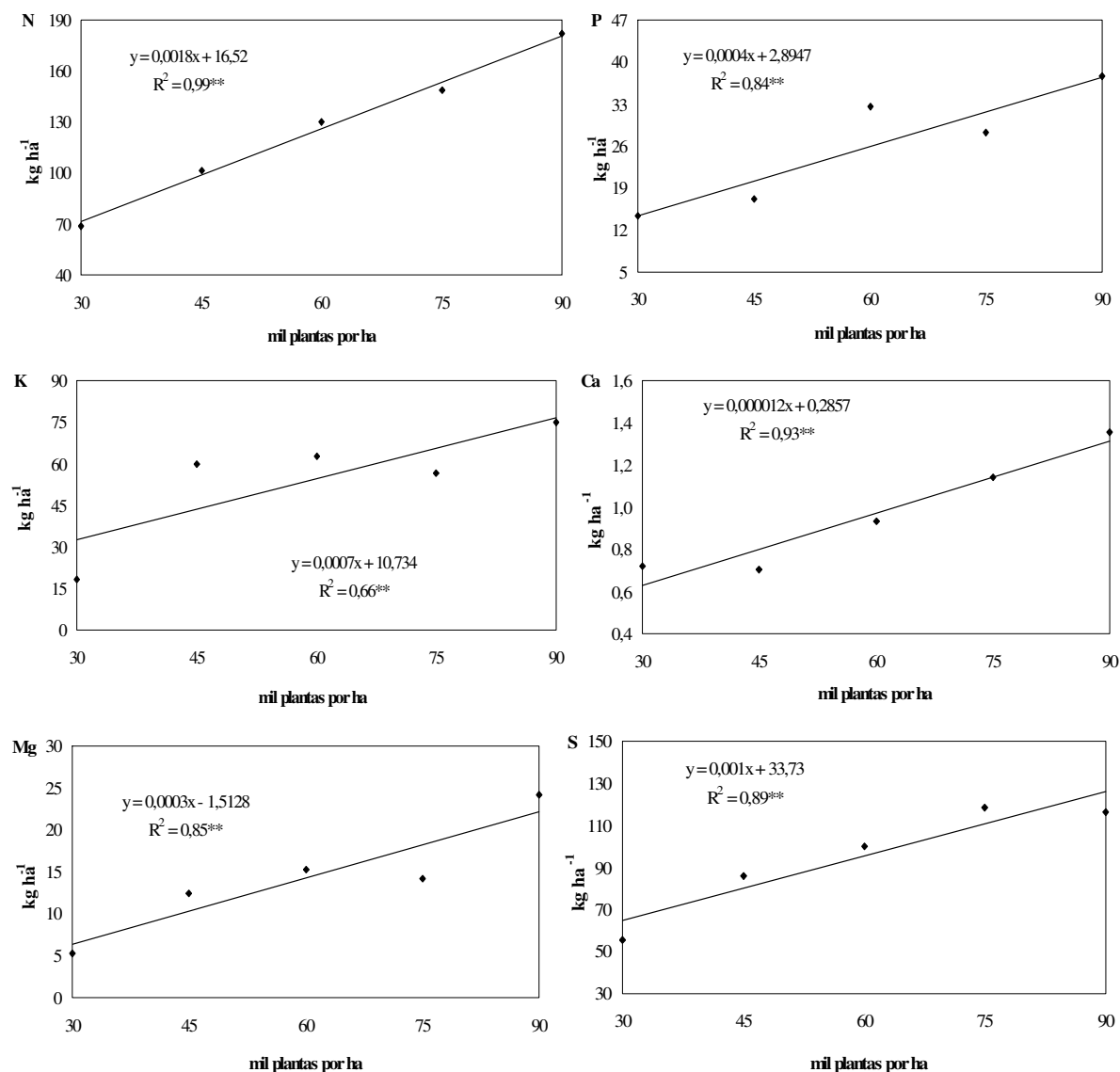


Figura 2. Quantidades exportadas dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, em kg ha⁻¹, pelos grãos de plantas de milho submetidas a cinco densidades populacionais. Jaboticabal, Estado de São Paulo, 2006.

Para o nitrogênio (N), segundo COELHO & FRANÇA (1995), cerca de 70 a 77% do nitrogênio absorvido pela cultura do milho é translocado para os grãos, compreendendo, em média, uma quantia de 15,20 kg de N para cada 1.000 kg de grãos. Neste experimento, alterando a densidade populacional de plantas de milho,

verificou uma variação da quantidade exportada deste nutriente, de 68,86 a 182,07 kg, para as populações de 30 a 90 mil plantas por ha, respectivamente (Figura 2A). Assim, com a quantia de 11,56 a 14,32 kg de N para cada 1.000 kg de grãos.

O fósforo (P) ocorre nas plantas em quantidades menores do que o nitrogênio e o potássio. É um elemento que desempenha papel fundamental na transferência e na utilização de energia pelas plantas, além de ser constituinte de uma série de compostos vitais ao metabolismo dos vegetais (FORNASIERI FILHO, 2007). Em média, 77 a 87% do nutriente absorvido é exportado para os grãos (COELHO & FRANÇA, 1995), fazendo com que, proporcionalmente, seja o elemento mais exportado pela cultura. O valor máximo exportado neste experimento, 37,63 kg ha⁻¹, foi obtido com a maior densidade populacional (Figura 2B).

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento absorvido em maiores quantidades pelo milho, sendo que, em média, 30% são exportados pelos grãos (COELHO et al, 2002). A exportação de K também foi influenciada pelo incremento populacional, obtendo-se a máxima quantidade de 74,76 kg ha⁻¹ com 90 mil plantas por ha (Figura 2C).

Para o caso do cálcio (Ca), somente uma pequena parte do absorvido é exportado da área pelos grãos, e as diferenças entre as densidades foram pequenas. Sendo a maior exportação de Ca, 1,35 kg ha⁻¹, observada no tratamento com a maior densidade populacional (Figura 2D).

As quantidades exportadas de Mg (Figura 2E) e S (Figura 2F) também foram aumentando de forma significativa com o incremento da densidade populacional. Observa-se que as quantidades máximas de Mg e S exportadas de 24,13 e 116,15 kg ha⁻¹, respectivamente, ocorreram com a população de 90 mil plantas por ha.

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos e redução na produtividade quanto a deficiência de um macronutriente, como o nitrogênio (COELHO et al., 2002). As quantidades extraídas dos micronutrientes Cu (Figura 3A), Mn (Figura 3B), e Zn (Figura 3C), também aumentaram com o aumento da população de plantas por unidade de

área (Figura 3). As máximas quantidades exportadas de Cu, Mg e Zn, foram de 13,55; 66,52 e 305,32 g ha⁻¹, respectivamente, na densidade de 90 mil plantas por ha. O Cu foi o micronutriente que apresentou a menor variação das quantidades exportadas pelos grãos das plantas de milho em função das diferentes densidades populacionais.

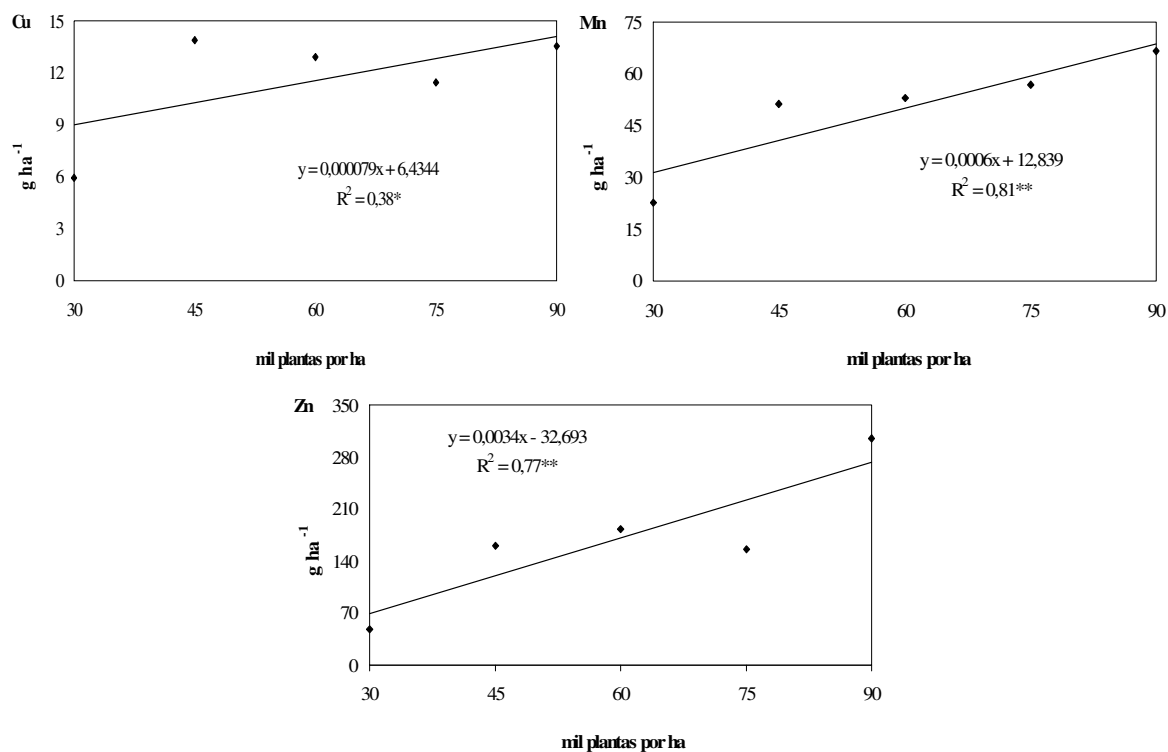


Figura 3. Quantidades exportadas dos micronutrientes Cu, Mn e Zn, em g ha⁻¹, pelos grãos de plantas de milho submetidas a cinco densidades populacionais. Jaboticabal, Estado de São Paulo, 2006.

4.4. Conclusões

1. O aumento da densidade populacional aumenta a altura das plantas e a inserção da principal espiga; e reduz o número de espigas por planta, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e massa de grãos por espiga.

2. A elevação do número de plantas por unidade de área promove o aumento na produtividade de grãos de milho, refletindo em maiores exportações de macro e micronutrientes com a colheita dos grãos.

4.5. Referências bibliográficas

ALMEIDA, M. L. de; MEROTTO JUNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.

AMARAL FILHO, J.P.R. do; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.467-473, 2005.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, 237p.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: Nutrição e adubação. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.71, set. 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set. 1995. Encarte.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERNANI, L.C. Cultivo do milho: Nutrição e adubação. **Comunicado Técnico**, Sete Lagoas, MG, n.44, dez. 2002.12p.

CRUZ, J.C.; PEREIRA, F.T.F.; PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C. de; MAGALHÃES, P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.60-73, 2007.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P.A.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P.; ROMANO, M.R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, p.63-77, 2003.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília - DF, 1999.

- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. FUNEP, Jaboticabal, 2007, 576p.
- MAGGIO, M.A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”**. Campinas: IAC, 2006. 47p. (Dissertação).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.
- PALHARES, M. Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. 90p. (Dissertação).
- PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, p.52-60, 2003.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC (Boletim Técnico 100), 1997. p.56-57.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n.1, p.159-168, 2001.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Bases morfo-fisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p.101-110, 2002.
- SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Evolução da tolerância a doenças de híbridos de milho de diferentes épocas em três populações de planta **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p. 7-21, 2000.

SCHEEREN, B.R.; BAZONI, R.; BONO, J.A.; ARIAS, S.S.; OLIVEIRA, R.; SALOMÃO, L. Arranjo populacional para a cultura do milho na região central do Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v 26, n.2, p.55-60, 2004.

SHARRAT, B.S.; McWILLIAMNS, D.A. Microclimatic and Rooting Characteristics of Narrow-Row versus Conventional-Row Corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.1139-1135, 2005.

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do metabolismo de carbono e nitrogênio em plantas de milho demonstrou-se extremamente complexo, pois envolve a síntese, degradação, deposição e transporte de vários metabólitos, bem como a síntese e a ativação de enzimas que desempenham papel fundamental no crescimento e atuação nos diferentes órgãos. Sendo estes aspectos metabólicos responsáveis pela produção das plantas, e serem influenciados por vários fatores, como a alteração sobre a relação fonte e dreno de fotoassimilados. Com isso, neste estudo é exigido que se tenha conhecimento nas áreas de fisiologia e bioquímica de plantas, para que se possa compreender a planta como um todo, entendendo os mecanismos fisiológicos de resposta às diferentes densidades populacionais.

As alterações no metabolismo de carbono e nitrogênio das plantas de milho foram mais evidentes na fase reprodutiva. O aumento na densidade populacional reduziu o acúmulo dos metabólitos nos colmos, nas folhas e nos grãos, reduzindo a massa seca de grãos por planta. O adensamento promoveu a redução na atividade da redutase do nitrato nas folhas e na produção de aminoácidos livres e proteínas solúveis nas folhas, nos colmos e nos grãos no estágio de grão pastoso, que refletiu em menores acúmulos de proteína bruta nos grãos e menor número de grãos por espiga.

O aumento da densidade populacional resultou ainda em menores acúmulos de macronutrientes e micronutrientes por planta, e menor eficiência de remobilização dos nutrientes. No entanto, promoveu um melhor aproveitamento dos nutrientes aplicados via adubo para a produção de grão, assim como, aumentou a produtividade de grãos e a exportação de nutrientes por influência da compensação do maior número de plantas por unidade de área.

O presente trabalho, além de trazer contribuições para se compreender o comportamento do metabolismo de carbono e nitrogênio em plantas de milho que tenham suas relações fonte/dreno alteradas, ofereceu a oportunidade de trabalhar com alguns aspectos metodológicos da instalação e condução de experimentos que merecem ser mencionados. Por exemplo, o estabelecimento de diferentes níveis de

fonte e dreno através de diferentes densidades populacionais de plantas não exigindo grande estrutura para promover condições de cultivo controlado e oferecendo bons resultados. Entretanto, há a necessidade de aprimoramento do controle do dreno, através do controle da polinização, pois como o aumento da densidade populacional afeta o ciclo de desenvolvimento das plantas, neste trabalho adotou-se como definição o momento de amostragem quando 50% das plantas atingiram o estágio de pendoamento e de grão pastoso, evitando-se assim, o problema do não estabelecimento exato do nível de dreno pretendido.

Deve ser considerada ainda, em estudos desta natureza a necessidade da avaliação de mais atividades enzimáticas do metabolismo de carbono e nitrogênio como a Adenosina-difosfoglicose pirofosforilase (ADG-PPase), a Glutamato-oxaloacetato transaminase (GOT) e a Glutamato-piruvato transaminase (GPT) para facilitar o entendimento das variações ocorridas em situação de estresse decorrente ao aumento da densidade populacional. Além disso, seria interessante o estudo de padrões isoenzimáticos das enzimas estudadas em função dos tratamentos aplicados, o que provavelmente permitiria dar respostas mais exatas do comportamento do metabolismo das plantas, pois há evidências de diferentes isoenzimas que apresentam respostas diferenciadas em função do maior ou menor suprimento de seus substratos cujas variações não são detectadas analisando a atividade total. Para o estudo de eficiência de uso e de remobilização dos nutrientes seria mais interessante realizar amostragens exclusivamente nos estádios de pendoamento e no estágio de maturação fisiológica, após a completa formação dos grãos de milho. Com base nos resultados apresentados e discutidos neste trabalho, recomendaria a redução do número de tratamentos, utilizando apenas três densidades populacionais, 30, 60 e 90 mil plantas por ha, com o intuito de facilitar a realização de um maior número de avaliações com uma boa representação do efeito destes tratamentos.

APÊNDICE

Tabela 1. Valores diários dos atributos do clima de 23 a 30 de novembro de 2005. Jaboticabal, Estado de São Paulo.

Dia	T_{média} °C	UR_{média} %	T_{máxima} °C	T_{mínima} °C	Precipitação mm	Insolação h
23	24,3	76,5	31,0	22,0	0,0	2,0
24	25,2	73,1	31,4	20,9	0,2	4,5
25	24,4	78,9	30,5	21,7	0,0	1,8
26	20,9	83,4	25,3	18,8	11,8	0,2
27	24,4	63,7	30,6	17,5	0,0	10,8
28	25,0	62,9	29,9	17,8	0,0	9,1
29	23,9	78,8	27,5	20,6	0,0	1,9
30	21,9	91,7	24,8	20,5	2,9	0,5
Média	23,8	76,1	28,9	20,0	Total 14,9	30,8

Tabela 2. Valores diários dos atributos do clima de 1 a 31 de dezembro de 2005. Jaboticabal, Estado de São Paulo.

Dia	T_{média} °C	UR_{média} %	T_{máxima} °C	T_{mínima} °C	Precipitação mm	Insolação h
1	22,6	94,3	27,1	20,5	18,5	2,2
2	21,5	92,1	24,9	20,2	46,0	0,3
3	21,9	76,7	25,8	17,8	80,4	4,7
4	24,2	70,5	31,7	16,2	0,0	11,7
5	24,1	81,3	28,6	21,9	0,0	3,5
6	23,3	89,2	27,6	21,3	9,4	0,4
7	20,6	92,0	24,6	19,3	13,5	0,0
8	20,7	83,0	25,3	18,0	4,5	1,0
9	23,9	80,2	29,7	17,5	0,0	1,4
10	26,3	77,6	32,4	21,5	4,5	7,0
11	23,1	79,6	28,6	20,7	0,0	4,4
12	21,9	92,8	28,6	18,8	1,2	4,2
13	23,0	72,0	29,2	18,2	17,8	11,7
14	24,1	67,6	31,2	18,0	0,2	11,1
15	24,7	66,2	31,4	17,0	0,5	10,2
16	24,2	72,8	30,8	20,1	10,1	10,4
17	23,5	75,4	29,5	19,6	0,0	4,9
18	23,2	84,2	28,8	19,5	9,8	6,5
19	20,9	90,8	24,1	19,1	5,2	2,3
20	24,6	76,0	31,0	19,3	8,2	8,7
21	23,7	81,4	29,6	20,2	0,0	2,5
22	24,5	74,0	31,4	19,9	1,0	5,9
23	26,1	70,1	33,6	20,2	0,0	12,0
24	24,3	71,1	32,0	20,4	0,0	7,8
25	24,2	75,8	30,0	19,8	0,4	7,2
26	24,2	65,4	30,8	18,1	0,0	12,3
27	23,2	72,1	30,5	18,2	10,6	10,5
28	23,5	68,9	31,8	17,3	0,0	10,4
29	24,8	64,3	31,9	17,8	0,0	11,8
30	24,2	70,3	31,8	19,3	0,0	11,9
31	23,9	82,3	30,1	19,6	0,8	5,4
Média	23,5	77,7	29,5	19,2	Total 242,6	204,3

Tabela 3. Valores diários dos atributos do clima de 1 a 31 de janeiro de 2006. Jaboticabal, Estado de São Paulo.

Dia	T_{média} °C	UR_{média} %	T_{máxima} °C	T_{mínima} °C	Precipitação mm	Insolação h
1	23,2	86,9	29,5	20,4	12,5	3,9
2	22,6	91,9	25,6	20,6	30,0	0,0
3	24,1	81,9	30,6	20,8	31,5	7,1
4	21,8	90,7	25,9	19,4	16,2	0,0
5	19,9	98,1	21,2	19,2	24,7	0,0
6	22,1	88,4	27,3	19,4	28,0	1,5
7	24,3	83,7	29,6	20,0	5,8	3,6
8	24,3	79,1	32,4	20,6	2,0	7,9
9	24,0	82,5	31,5	20,0	43,0	8,1
10	24,3	69,0	31,9	20,0	0,3	11,5
11	25,2	71,3	32,2	19,4	2,6	8,4
12	24,3	69,8	29,4	20,0	0,0	6,9
13	25,4	65,5	33,0	18,3	0,0	9,1
14	26,1	66,3	32,6	21,1	0,0	10,0
15	27,1	61,7	33,8	20,5	0,0	12,0
16	27,7	61,2	34,8	21,0	0,0	12,6
17	28,4	66,6	34,7	22,5	0,0	12,1
18	24,5	72,0	33,2	20,1	0,4	8,4
19	24,9	79,7	31,6	20,2	13,6	8,3
20	26,2	70,7	32,4	20,7	0,0	10,9
21	26,8	62,6	33,2	21,3	0,0	11,9
22	27,0	54,6	33,9	20,0	0,0	12,0
23	27,5	60,7	34,5	20,6	0,0	9,2
24	27,6	61,5	36,0	20,6	0,3	9,6
25	27,1	57,5	35,9	21,7	0,0	11,1
26	27,1	67,4	33,5	20,3	2,8	11,2
27	25,9	72,7	32,6	21,9	0,0	6,7
28	25,4	80,6	31,9	21,1	0,0	4,0
29	22,2	93,3	25,2	20,9	9,8	0,0
30	22,5	90,4	28,1	19,3	11,0	5,9
31	24,9	76,1	31,6	18,9	2,5	12,1
Média	25,0	74,7	31,3	20,3	Total 237,0	236,0

Tabela 4. Valores diários dos atributos do clima de 1 a 28 de fevereiro de 2006. Jaboticabal, Estado de São Paulo.

Dia	T_{média} °C	UR_{média} %	T_{máxima} °C	T_{mínima} °C	Precipitação mm	Insolação h
1	24,3	74,9	33,6	18,5	0,0	9,5
2	25,3	75,0	31,7	18,8	5,0	12,0
3	24,9	72,9	32,9	19,3	0,0	11,0
4	25,6	72,4	33,6	19,9	0,0	10,7
5	26,7	66,8	33,6	20,0	0,0	10,6
6	27,4	64,8	34,0	20,7	0,0	11,3
7	25,4	88,3	33,4	21,3	0,0	6,6
8	23,8	85,9	32,0	21,3	32,3	6,8
9	24,4	87,5	31,4	20,7	133,0	5,4
10	24,2	86,9	29,8	21,6	0,2	4,7
11	21,8	95,0	25,6	20,5	34,4	0,5
12	20,6	97,6	21,6	20,0	28,5	0,0
13	24,1	81,9	30,1	19,6	23,6	7,0
14	24,7	83,4	32,6	21,1	0,2	10,6
15	24,9	83,7	32,8	21,0	0,0	7,5
16	23,4	88,6	29,1	19,4	11,3	2,6
17	22,8	93,5	27,6	21,1	11,9	1,1
18	23,6	90,6	27,8	20,7	22,5	2,5
19	25,6	77,4	33,9	20,5	1,5	8,5
20	25,0	78,9	31,3	20,8	0,0	4,2
21	23,8	85,2	30,1	20,7	0,0	3,4
22	22,8	82,8	29,6	18,5	111,0	7,6
23	23,6	88,5	29,7	19,6	0,0	8,1
24	23,0	85,8	28,4	19,2	0,6	3,4
25	24,6	80,4	30,2	21,0	0,4	9,6
26	23,7	84,0	28,6	21,1	0,0	2,5
27	24,1	83,3	31,3	21,4	0,0	6,6
28	24,7	83,8	32,8	20,0	0,0	6,8
Média	24,2	82,9	30,7	20,3	Total 416,4	181,1

Tabela 5. Valores diários dos atributos do clima de 1 a 31 de março de 2006. Jaboticabal, Estado de São Paulo.

Dia	T_{média} °C	UR_{média} %	T_{máxima} °C	T_{mínima} °C	Precipitação mm	Insolação h
1	25,4	77,9	32,5	20,7	0,7	7,8
2	26,7	74,9	32,9	20,8	0,0	9,6
3	26,8	73,3	34,9	21,1	0,2	10,1
4	25,3	80,8	33,2	21,8	0,0	9,3
5	24,6	85,3	30,1	21,2	26,3	7,0
6	25,4	83,1	31,6	21,3	3,0	8,0
7	23,9	85,9	30,5	20,9	0,1	6,9
8	24,6	82,1	31,0	19,8	0,0	7,3
9	25,9	74,4	32,8	19,9	0,0	11,0
10	25,3	79,7	32,6	21,4	0,0	7,3
11	23,9	76,6	31,2	18,5	0,1	11,0
12	23,8	70,1	30,8	17,9	0,0	11,1
13	24,1	73,4	30,9	18,5	0,0	10,1
14	23,6	79,4	31,0	19,4	0,0	7,6
15	24,4	79,9	31,4	20,0	5,4	6,2
16	23,6	88,0	30,4	21,4	2,3	4,5
17	22,9	87,8	28,4	20,2	26,0	4,1
18	24,2	89,4	30,6	21,1	9,8	5,1
19	24,8	78,8	32,0	20,8	1,2	10,0
20	24,7	79,3	30,4	20,5	0,0	9,0
21	24,2	86,1	30,7	21,5	0,0	3,6
22	24,5	78,8	32,6	20,4	0,0	7,1
23	23,6	91,3	30,2	21,0	1,3	2,8
24	24,6	79,3	32,4	20,5	0,3	7,6
25	23,5	99,0	31,0	21,2	0,4	5,1
26	23,6	84,4	28,0	21,1	10,6	1,3
27	24,6	76,0	30,6	19,6	0,0	7,1
28	25,7	74,0	31,4	21,0	0,0	8,0
29	23,0	91,2	25,6	20,8	0,0	0,9
30	23,2	86,8	29,4	20,1	49,2	3,9
31	24,3	77,2	31,0	18,1	0,0	10,6
Média	24,5	81,4	31,0	20,4	Total 136,9	221,0

Tabela 6. Valores diários dos atributos do clima de 1 a 19 de abril de 2006. Jaboticabal, Estado de São Paulo.

Dia	T_{média} °C	UR_{média} %	T_{máxima} °C	T_{mínima} °C	Precipitação mm	Insolação h
1	23,4	75,4	29,8	18,3	0,0	10,6
2	23,7	75,0	30,6	18,4	0,0	10,0
3	23,6	75,0	31,1	18,9	0,0	9,9
4	22,9	71,1	30,9	16,8	0,0	10,0
5	21,9	84,3	27,3	17,8	0,0	2,9
6	22,0	91,1	25,0	20,8	0,8	0,4
7	23,4	86,5	29,8	18,6	5,7	5,3
8	21,5	88,1	25,0	20,2	3,4	2,9
9	23,2	80,2	29,1	17,7	0,0	10,6
10	23,2	80,4	30,6	17,7	0,0	10,0
11	23,3	75,4	29,2	19,4	0,0	9,9
12	24,0	71,0	30,6	18,4	0,0	10,6
13	24,0	71,6	31,8	17,8	0,0	10,3
14	23,7	68,1	32,2	17,2	0,0	10,0
15	24,2	69,3	31,8	17,9	0,0	7,1
16	22,9	76,6	28,6	20,0	0,0	3,4
17	20,8	74,1	26,2	18,7	0,0	5,4
18	19,6	74,0	25,2	15,3	0,0	5,0
19	19,9	75,2	27,6	14,8	0,0	10,6
Média	22,7	77,0	29,07	18,1	Total 9,9	144,9

Estes valores diários dos atributos do clima de Jaboticabal-SP, da semeadura até a colheita, foram obtidos por meio do acervo da Área de Agrometeorologia (próxima ao experimento) do Departamento de Ciências Exatas (e-mail: agrometeorologia@fcav.unesp.br) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal.