

GELAVIR ANTONIO DEPARIS

**ESPAÇAMENTO, ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA EM
COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Maria do Carmo Lana

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
SETEMBRO – 2006**

Aos meus pais, Iracema e Valentim, pessoas simples que desde cedo na vida me ensinaram que a maior riqueza que alguém pode possuir é o conhecimento e a educação.

Ao meu irmão Marcio, pessoa bem determinada.

A minha esposa, Justina, pelo incentivo e inestimável apoio e aos meus filhos, Stella, Fernanda, Douglas e Arthur, pelas horas de convívio e lazer que lhes foram suprimidas para a dedicação ao curso.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao criador, pela vida e as grandes oportunidades que me brinda a cada dia e porque sei que o melhor ainda está por vir.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em especial ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Campus de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização do curso.

À Coopavel Cooperativa Agroindustrial e Universidade Coopavel-UNICOOP, pela concessão do tempo, local para execução do trabalho e auxílio aos estudos.

À professora e orientadora Maria do Carmo Lana pelo apoio e orientação, imprescindíveis à realização deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, pela amizade e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia, pelo companheirismo e o bom trato que me dispensaram, em especial, ao Laercio Boschini e ao Jorge Luiz Knebel, colegas da Coopavel, pelo apoio, incentivo e solidariedade.

A minha amada esposa, Justina, pelo amor, apoio e incentivo em todos os momentos.

À Noili, pelo carinho de nos receber sempre de bom grado.

Ao técnico do laboratório de Fertilidade do solo e Nutrição Mineral de Plantas, companheiro e colega do Curso de Pós-Graduação, Juceney Fernando Frandoloso, pela disponibilidade e ajuda nas horas cruciais.

Aos funcionários do Centro Tecnológico Coopavel pela ajuda na execução do trabalho.

E a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 ARRANJO E POPULAÇÃO DE PLANTAS.....	11
2.2 RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA	18
2.2.1 Fatores que afetam a resposta do milho à adubação nitrogenada em semeadura direta	21
2.2.2 Adubação nitrogenada do milho.....	23
2.3 RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	23
2.4 INTERAÇÃO NITROGÊNIO X POTÁSSIO	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	27
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	28
3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	30
3.4 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	32
3.5 AVALIAÇÕES E COLETA DE DADOS	32
3.5.1 Coleta de folhas e determinação de teores de nutrientes.....	32
3.5.2 Variáveis biométricas	33
3.5.3 Componentes da produção	34
3.5.4 Teores de nutrientes nos grãos	35
3.5.5 Teores de nutrientes de solo	35
3.5.6 Índices de eficiência	35
3.5.7 Análise Estatística	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

4.1 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E COMPONENTES DA PRODUÇÃO	37
4.2 RESULTADOS DOS TEORES DE NPK NO SOLO, FOLIAR E NOS GRÃOS E PROTEÍNA NOS GRÃOS.....	42
4.3 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE EFICIÊNCIA.....	46
5 CONCLUSÕES	53
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
7 APÊNDICE	60

ESPAÇAMENTO, ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da redução de espaçamento entre linhas e da adubação nitrogenada e potássica em cobertura, na eficiência de absorção de nutrientes, na produtividade, componentes da produção e variáveis biométricas na cultura do milho, híbrido Penta, ciclo precoce. O experimento foi instalado em Cascavel, Pr, na área do Centro Tecnológico Coopavel (CTC), no ano agrícola de 2004/05, em Latossolo Vermelho eutrófico, em sistema plantio direto. Foram estudados três espaçamentos entre linhas (0,45; 0,67 e 0,90 m), com uma população de 55.000 plantas ha⁻¹, adequadas a cada espaçamento, com quatro repetições. O delineamento experimental consistiu de blocos inteiramente casualizados, dispostos em parcelas subdivididas. Utilizaram-se 13 combinações de sete doses de nitrogênio (8; 20; 40; 80; 120; 140 e 152 kg ha⁻¹ de N), como sulfato de amônio, com sete doses de potássio (3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5 e 57 kg ha⁻¹ de K₂O), como cloreto de potássio. Estes tratamentos foram alocados nas subparcelas e na parcela principal foram alocados os espaçamentos totalizando 39 tratamentos. A redução do espaçamento entre linhas, de 0,90 m para 0,45 m mantendo a mesma população por área proporcionou aumento da produção de biomassa seca total e também maior eficiência na absorção de nitrogênio e potássio e maior eficiência no uso de N e K no grão, em consequência da melhor distribuição espacial das plantas. As variações no espaçamento entre linhas de 0,45; 0,67 e 0,90 m, mantendo-se a mesma população de plantas não resultaram em variações na produtividade de grãos para o milho. Verificou-se aumento linear na produtividade e da produção de biomassa seca da parte aérea até a dose de 152 kg ha⁻¹ de N em cobertura. A adubação com potássio proporcionou aumento da produção de biomassa seca da parte aérea, mas não influenciou na produtividade. Doses acima de 80 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O resultaram em menor eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados e potássicos.

Palavras chaves: *Zea mays*, arranjo de plantas, nitrogênio, potássio.

ROW SPACING, NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZATION IN COVERING FOR THE CORN CULTURE

This work had the objective of evaluate the effect of reduction of the spacement between lines and the nitrogen and potassium fertilization in covering, efficiency of absorption of nutrients, productivity, production components and changeable biometrics in the corn culture, hybrid Penta, and early cycle. The experiment was installed in Cascavel, PR in the area of Centro Tecnológico Coopavel (CTC), in the agricultural year of 2004/05, in eutroferric Red Latosol, no-tillage system. It was studied three spacements between lines (0,45; 0,67 e 0,90 m), with a population of 55.000 plants ha⁻¹, appropriated to each spacement, with four repetition. The experimental delimitation consisted of blocks whole casualized, arranged in subdivided portions. It was used 13 combinations of seven nitrogen doses (8; 20; 40; 80; 120; 140 e 152 kg ha⁻¹ de N), as ammonium sulfate, with seven potassium doses (3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5 e 57 kg ha⁻¹ de K₂O), as potassium chloride. These treatments were allocated in the subportions and in the main portion were allocated the spacements adding 39 treatments. The reduction of spacement between lines of 0,90 m to 0,45 m maintaining the same population in each area proportioned the increase of whole dry biomass production and also more efficiency in the absorption of nitrogen and potassium and more efficiency in using N and K in the grain, in consequence of better spatial distribution of the plants. The variations in the interlines spacing of 0,45; 0,67 e 0,90 m, maintaining the same population of plants did not resulted in variations in the productivity of grains for corn. It was verified a linear increase in the productivity and dry biomass production in the air part to the of 152 kg ha⁻¹ of in covering. The fertilization with potassium proportioned increase of the production of dry biomass of the air part, but it did not influenced in the productivity. Doses above 80 kg ha⁻¹ of N and 30 kg ha⁻¹ of K₂O, resulted in less using efficiency of nitrogen and potassium fertilizers.

Key words: *Zea mays*; plants arrangement; potassium.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado uma das principais espécies utilizadas no mundo. Anualmente são cultivados cerca de 140 milhões de hectares, os quais contribuem para a produção de, aproximadamente, 668 milhões de toneladas de grãos (AGRIANUAL, 2006).

O milho, em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, aliado à sua multiplicidade de uso e aplicação, quer na alimentação humana, quer na alimentação animal, assume relevante papel sócio-econômico, sendo matéria prima indispensável em diversificados processos agroindustriais.

A cultura do milho, o mais tradicional cereal produzido no Brasil, tem passado por notáveis transformações. Apesar de não estar havendo grandes incrementos da área de plantio nos últimos anos, a melhoria de tecnologia tem resultado em aumentos consideráveis em produtividade de grãos. Dentro das transformações estão incluídos, principalmente, a nutrição mineral adequada, melhoria das características agrônomicas, práticas de manejo que, no conjunto e adequadamente combinadas, têm propiciado crescimento do nível tecnológico, aumento de produtividade e obtenção de excelentes resultados financeiros aos agricultores.

A necessidade de alterações no arranjo de plantas na cultura do milho pode ser atribuída às modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica. Estas modificações foram incorporadas pelos programas de melhoramento nas últimas décadas, aumentando a tolerância da cultura a estresses de diversas naturezas, principalmente, luz, temperatura e água, devido ao uso de altas densidades de plantas (ARGENTA et al., 2001b).

Em virtude das modificações introduzidas nos genótipos de milho mais recentes, tais como, menor estatura da planta e altura de inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, decréscimos no tamanho do pendão, taxa de senescência foliar

durante o enchimento de grãos, menor duração do subperíodo pendoamento-espigamento, plantas com folhas de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo, tornam-se necessário reavaliar as recomendações de prática de manejo para esta cultura (ARGENTA et al., 2001 b).

A adubação é um dos fatores que mais contribui para o aumento da produtividade do milho, podendo também influenciar a qualidade dos grãos (FERREIRA et al., 2001). Com relação ao nitrogênio, este é o nutriente mais exigido e que maior resposta fornece à cultura do milho em termos de produtividade quando corretamente aplicado, isto é, dose, época e forma de aplicação (PEIXOTO et al., 2003). O milho é uma cultura que extrai grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade fornecida pela adubação de base e pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas.

A dinâmica do nitrogênio é muito complexa e por esta razão esse elemento é o mais estudado, justamente pelo fato deste interagir com as plantas, com o solo, com os microorganismos do solo e com o ar. É conhecida a importância do nitrogênio quanto às suas funções no metabolismo das plantas, participando como constituinte de moléculas de proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromos, clorofila, além de ser um dos nutrientes mais relevantes para o aumento da produção. A adubação nitrogenada influencia também a qualidade do produto em consequência do teor de proteína nos grãos de milho (FERREIRA et al., 2001).

O potássio tem um grande impacto na qualidade da cultura; tem influência positiva sobre o peso individual de grãos e número de grãos por espiga (BÜLL & CANTARELLA, 1993). Apesar de não fazer parte de nenhum composto dentro da planta, o potássio é importante em inúmeros processos bioquímicos envolvidos com a síntese e o metabolismo de carboidratos, como a fotossíntese, a respiração e translocação orgânica.

A necessidade nutricional das plantas é outro aspecto a ser considerado na escolha do arranjo de plantas para a cultura do milho, pois a cultura é muito exigente em fertilidade do solo. O milho responde progressivamente a altas adubações, desde que os demais fatores estejam em níveis ótimos, sendo que o nitrogênio é o nutriente

ao qual o milho apresenta melhor resposta de aumento de produtividade. Trabalhos com genótipos, densidades de planta e níveis de nitrogênio evidenciam que à medida que se eleva a densidade de plantas, são necessários maiores doses de nitrogênio. Por outro lado, com baixa disponibilidade deste nutriente, na qual se espera menor produtividade, a densidade ótima recomendada deve ser reduzida (ARGENTA et al. 2001b).

Deve haver na adubação um uso balanceado de nitrogênio e potássio. A relação N:K é importante desde os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, e que tem muita influência sobre o acamamento, sendo que altos teores de nitrogênio com baixos teores de potássio favorecem o acamamento. Em geral, quando as doses de nitrogênio são aumentadas, sem serem balanceadas com potássio e outros nutrientes, a produção é reduzida. A relação N:K afeta aspectos qualitativos da cultura do milho, como conteúdo de proteína, qualidade de silagem e peso de 100 grãos. Além disso, o potássio aumenta a produção, a eficiência de utilização do nitrogênio e a absorção total do nitrogênio pela cultura (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

Com a redução do espaçamento entre linhas mantendo a mesma população por área, há maior espaçamento de plantas na linha e redução da competição entre plantas por água, luz e nutrientes e melhor aproveitamento de nutrientes aplicados, portanto aumenta a necessidade de adubação de nutrientes de maior mobilidade no solo como, o nitrogênio e o potássio.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da redução de espaçamento entre linhas e da adubação nitrogenada e potássica, na eficiência de absorção de nutrientes, na produtividade e componentes da produção na cultura do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARRANJO E POPULAÇÃO DE PLANTAS

A produtividade média de grãos obtidos com a cultura do milho no Brasil é considerada baixa, quando comparada à de outros países produtores. Esta baixa produtividade está relacionada a várias causas, dentre as quais se destacam os fatores de fertilidade do solo, densidade, e arranjo das plantas (RIZZARDI et al., 1994).

Neste sentido, um dos fatores que deve ser estudado é a resposta da cultura ao arranjo das plantas. O melhor arranjo das plantas, é aquele que proporciona uma distribuição mais uniforme das plantas na linha de semeadura, possibilitando melhor utilização da luz, da água e dos nutrientes. As plantas podem ser distribuídas de várias formas, sendo que as variações na distância entre elas na linha e nas entre linhas determinam os diferentes arranjos na lavoura (ARGENTA et al., 2001 b).

Menores espaçamentos entre linhas permitem melhor distribuição espacial das plantas de milho, aumentando a eficiência da interceptação da luz e ao decréscimo de competição entre plantas de milho por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais equidistante das plantas, resultando muitas vezes em incremento de produtividade. Outro efeito da redução de espaçamento entre linhas de milho relaciona-se à qualidade de luz recebida pelas plantas. Esta variação na qualidade de luz recebida, devido à luz difusa no dossel da cultura, determina algumas modificações no desenvolvimento das plantas como: maior alongação do colmo, folhas mais compridas e finas e elevadas perdas de raízes (ARGENTA et al., 2001a).

A redução do espaçamento permite maior absorção de luz solar e taxa fotossintética, maior retenção de água pela menor evaporação. Maior eficiência das plantas devido ao melhor arranjo espacial, que permite que cada planta

individualmente aproveite um maior volume de solo e, conseqüentemente, maior quantidade de água e nutrientes (ARGENTA et al., 2001a).

A redução do espaçamento entre linhas pode aumentar a competitividade da cultura do milho com as plantas daninhas, a partir da maior quantidade de luz que é interceptada pelo dossel da cultura. A cobertura mais rápida do solo, favorece a maior supressão das plantas daninhas e conseqüente redução da reinfestação (ARGENTA et al., 2001a).

A não concorrência entre plantas por água, nutrientes e luz pode ser considerada como um fator para a utilização de um número máximo de plantas com o uso de cultivares que possuem características adequadas em solos corretamente fertilizados e com disponibilidade de água. O aumento da população de plantas, através de alterações no espaçamento e/ou densidade, pode aumentar a produção até uma densidade de plantas em que a competição por nutrientes, água, luz e CO₂ possa limitar o processo. Elevando-se o nível de nutrientes no solo é possível desenvolver numa área, um maior número de plantas, desde que os outros fatores não sejam limitantes (RESENDE et al., 2002). O aumento da densidade populacional provoca maior competição entre plantas por nutrientes, água, luz e CO₂, sendo a disponibilidade dos dois primeiros os que oferecem maiores limitações para o emprego de grandes populações. Quando se tem um solo com bom nível de fertilidade, um bom teor de umidade, esses dois fatores deixam de ser importantes para o aumento da densidade populacional e passa o fator luz a ser o mais decisivo para a competição das plantas no período vegetativo (RESENDE et al., 2002).

O aumento no número de plantas por área provoca um maior sombreamento do solo, diminuindo a sua evaporação. Por outro lado, esse aumento da população provoca um aumento no índice de área foliar, causando maior transpiração da planta e, portanto, maior consumo de água. Em condições de deficiência hídrica, esse aumento populacional pode causar prejuízos à produção, principalmente se ocorrer no período de florescimento da cultura do milho (MOLIN, 2000).

A redução do espaçamento entre linhas pode ser adequada, devido à arquitetura das plantas dos híbridos modernos, que permitem a semeadura mais

adensada, em virtude dos mesmos produzirem menor quantidade de massa, permitindo melhor aproveitamento de luz e água (ARGENTA et al., 2001a).

Argenta et al. (2001a) conduziram dois experimentos, nos anos agrícolas de 1997/98, no município de Eldorado do Sul – RS, solo Argissolo Vermelho distrófico típico de acordo com Embrapa (1999), em semeadura direta, que constaram de dois híbridos simples de milho: Cargill 901(ciclo superprecoce) e Braskalb XL 212 (ciclo precoce), e 1998/99, com dois híbridos simples de milho Cargill 901 (ciclo superprecoce) e Braskalb XL 214 (ciclo precoce), em duas densidades de plantas (50.000 e 65.000 plantas ha⁻¹) e de quatro espaçamentos entre linhas (0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m); a resposta em produtividade de grãos de milho à redução do espaçamento entre linhas foi influenciada pelo híbrido e pela densidade das plantas. O aumento de produtividade de grãos de milho decorrente da distribuição mais uniforme das plantas, com redução do espaçamento entre linhas de 1,00 m para 0,40 m, evitando a excessiva concorrência por luz dentro da fila, verificou-se principalmente em híbridos de ciclo superprecoce e de baixa estatura (Cargill 901) e densidade de 50.000 plantas ha⁻¹, pois estes demoram em fechar o espaço entre linhas.

Vasquez e Silva (2002) conduziram um experimento em Fernandópolis – SP, solo Argissolo de textura média, em semeadura convencional. Analisaram o desempenho agrônômico do híbrido simples AG 9010, em quatro espaçamentos de semeadura (0,46; 0,71; 0,82 e 0,93 m), e densidade populacional de 72.000 plantas ha⁻¹. O espaçamento de 0,46 m promoveu um aumento de produtividade médio de 19,4 % em relação ao espaçamento de 0,82 m.

Bortolini (2002) analisou o desempenho agrônômico do híbrido P 30F45, em Lucas do Rio Verde – MT, safra agrícola 2001/2002, em semeadura convencional, implantado em três densidades populacionais (50.000, 65.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) em três espaçamentos entre linhas (0,45; 0,70 e 0,90 m) e verificou que para os três níveis de população de plantas há aumento de produtividade de grão quando o espaçamento entre linhas é reduzido de 0,90 para 0,45 m.

Silva et al. (2002) analisaram o desempenho de dois híbridos de milho (Flash e Attach), em Eldorado do Sul – RS, safra agrícola 2001/2002, em semeadura direta, em quatro espaçamentos de plantas (0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m) e quatro densidades de

plantas (50.000, 62.500, 75.000 e 87.500 plantas ha⁻¹). A produtividade de grãos de milho variou em função do híbrido, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. A produtividade de grãos do híbrido Attach não foi influenciada pelos diferentes arranjos de plantas utilizados. Já, para o híbrido Flash a produtividade de grãos variou em função da densidade de plantas, sendo a população de 87.500 plantas ha⁻¹ superior às demais populações e da redução de espaçamento entre linhas, sendo o espaçamento de 0,40 m de melhor produtividade de grãos.

A distribuição do sistema radicular de plantas cultivadas sob espaçamentos menores ocupa maior volume de solo, proporcionando benefícios como melhor aproveitamento de nutrientes e água do solo, e maior resistência ao acamamento. A distribuição de fertilizantes se dá de forma mais abrangente, evitando zonas de concentração de nutrientes e raízes, formando um solo mais homogêneo (BORTOLINI, 2002).

Resende et al. (2003) realizaram um estudo com dez cultivares de milho de diferentes tipos, ciclo, tipo de grãos (UFLA 1, híbrido simples, precoce, semiduro; UFLA 2, híbrido triplo, precoce, semiduro; AG 8080, híbrido triplo, precoce, semiduro; AG 1051, híbrido duplo, precoce, dentado; DKB 911, híbrido simples, superprecoce, semiduro; DKB 929, híbrido simples, superprecoce, duro; Tork, híbrido simples, precoce, duro; Fort, híbrido simples, precoce, semiduro; DOW 8420, híbrido simples, precoce, duro; DOW 766, híbrido simples, superprecoce, semiduro), em dois anos agrícolas (2001/01 e 2001/02), em solo Neossolo litólico, em Lavras – MG, avaliaram três espaçamentos entre linhas (0,45; 0,70 e 0,90 m) em três densidades de semeadura (55.000, 70.000 e 100.000 plantas ha⁻¹), e verificaram que o comportamento do milho nas diferentes densidades e espaçamentos não foi coincidente ao longo dos anos, dependendo das condições climáticas prevalentes no ano agrícola.

Dourado Neto et al. (2003) em um experimento de milho em Piracicaba – SP, solo Nitossolo Vermelho eutroférico litossólico, textura argilosa, analisaram o efeito da população de plantas (30.000, 60.000 e 90.000 plantas ha⁻¹), sob dois espaçamentos (0,40 e 0,80 m), sobre a produtividade de grãos de três genótipos de milho com arquiteturas foliares abertas (AG 1051), semi-ereta (AG 7575) e ereta (DKB 911) e

onde concluíram que: na maior população, a redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m teve efeito positivo na produtividade de grãos no genótipo de arquitetura foliar aberta, devido à otimização de interceptação de luz. Até 60.000 plantas ha⁻¹, independente do genótipo, a produtividade de grãos foi crescente com o aumento de população, mas o aumento de 60.000 para 90.000 plantas ha⁻¹ provocou: a) incremento no genótipo de arquitetura ereta; b) estabilidade no genótipo de arquitetura semi-ereta, c) estabilidade, sob espaçamento de 0,40 m, e redução, sob espaçamento de 0,80, no genótipo de arquitetura aberta.

Marchão et al. (2004) instalaram dois experimentos e avaliaram o comportamento de seis híbridos comerciais de milho (A 2555, A2288, AG 9010, AG 6690, P 30F88 e VALENT), cultivados em cinco densidades (40.000, 53.000, 71.000, 84.000 e 97.000 plantas ha⁻¹), em dois locais diferentes (Goiânia e Jataí no estado de Goiás) e em espaçamento reduzido, na safra de 2002/2003. A produtividade de grãos nos dois experimentos apresentou efeito significativo da interação híbrido densidade, demonstrando que o comportamento dos híbridos para este caractere é influenciado pelas densidades de semeadura, sendo que as maiores produtividades de grãos foram alcançadas com densidades acima de 70.000 plantas ha⁻¹. Os resultados permitem concluir que, dependendo do híbrido utilizado, a redução no espaçamento entre linhas para 0,45 m é uma prática de manejo que permite um incremento na densidade de semeadura, foi o espaçamento que conferiu a maior produtividade.

Com o aumento da população de plantas por área, há redução no tamanho das espigas, diminuindo também seu índice por planta, entretanto, há compensação na produção, pelo aumento do número de plantas por área. Por outro lado, o adensamento excessivo incrementa a competição apical, aumentando a esterilidade feminina e limitando a produção por área (DOURADO NETO et al., 2003).

Segundo Argenta et al. (2001 b) a melhor adaptação dos híbridos modernos ao adensamento pode ser atribuída a modificações genéticas, morfológicas e fisiológicas, tais como os decréscimos no tamanho de pendão, número de plantas estéreis, taxa de senescência foliar durante o enchimento de grãos, intervalo entre pendramento e espigamento, estatura e número de folhas, acamamento de colmos e desenvolvimento radicular e no ângulo de inserção de folhas com o colmo. Para que

todas estas mudanças sejam bem utilizadas na escolha do arranjo de plantas de milho que maximize os recursos ambientes, é fundamental que se considere o ciclo da cultivar, objetivo da lavoura, nível de fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, época de semeadura e o comprimento da estação de crescimento. A confirmação dessas variáveis com o arranjo adequado de plantas contribuirá substancialmente para a melhoria da produtividade da cultura.

Bortolini et al. (2004) avaliaram o efeito do espaçamento e da densidade de plantas sobre a produtividade de grãos de milho safrinha no ano de 2002, em Lucas do Rio Verde – MT, em semeadura direta. Utilizou-se a cultivar DOW 8420, em três espaçamentos entre linhas (0,45; 0,70 e 0,90 m) e três populações de plantas (40.000, 50.000 e 60.000 plantas ha⁻¹). Na média das populações, o espaçamento entre linhas de 0,45 m proporcionou incremento de produtividade de 2 e 10,5 % em relação aos espaçamentos de 0,60 e 0,90 m, respectivamente.

A planta de milho é considerada como sendo uma das mais eficientes na conversão de energia radiante e, conseqüentemente, na produção de biomassa, visto que uma semente que pesa em média, 260 mg, resulta em um período de tempo próximo a 140 dias cerca de 0,8 a 1,2 kg de biomassa por planta e 180 a 250 g de grãos por planta, multiplicando, aproximadamente, 1.000 vezes o peso da semente que a originou (FANCELLI, 2002).

Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresse de natureza biótica e abiótica, que aliada a sua pequena plasticidade foliar, reduzida prolificidade e baixa capacidade de compensação efetiva, seu cultivo necessita ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a manifestação de sua capacidade produtiva (FANCELLI 2002).

A quantidade de água disponível para a cultura encontra-se na dependência da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água e da densidade radicular da planta. Assim, o manejo racional do solo e da cultura reveste-se de suma importância para o crescimento e distribuição do sistema radicular, favorecendo o aproveitamento eficiente da água no processo produtivo (FANCELLI, 2002).

A disponibilidade de água é, provavelmente, o principal fator que afeta a escolha da densidade ótima de plantas. A época mais crítica da planta de milho à deficiência hídrica situa-se no período entre duas a três semanas do espigamento (ARGENTA et al., 2001 b).

O aproveitamento efetivo da luz por parte do milho é decisivamente influenciado pela distribuição espacial das plantas na área, pelo arranjo das folhas na planta e pela extensão da área foliar presente, mediante combinações adequadas entre o espaçamento entre linhas e o número de plantas na linha (FANCELLI, 2002).

O aproveitamento por uma cultura da luz na faixa do espectro visível depende do índice de área foliar e de parâmetros físicos, biológicos e alométricos que determinam a absorção da radiação incidente (ARGENTA et al, 2001 b).

A organização espacial das folhas pode ser analisada pela densidade de cobertura foliar, distribuição horizontal entre folhas, distribuição vertical entre folhas e pelo ângulo foliar (BERNARDES, 1987).

A taxa de fotossintetizados aumenta até um valor máximo em função do índice de área foliar (IAF), que é dado pela área foliar existente em relação à superfície ocupada pela planta. Quanto mais rápido a cultura atingir o IAF ótimo, e quanto mais tempo a área foliar permanecer ótima, maior será a produtividade da cultura (BERNARDES, 1987).

O ângulo das folhas não afeta somente a iluminação relativa das folhas totalmente expostas, mas também a área de sombra projetada pelas folhas e, conseqüentemente, o fluxo de luz disponível para as folhas inferiores (BERNARDES, 1987).

As folhas mais eretas apresentam maior taxa de fotossíntese, pois resulta numa distribuição da radiação incidente por maior área foliar (BERNARDES, 1987).

Na interação entre plantas de uma cultura anual, a competição por luz instala-se rapidamente, porque o que se deseja é o rápido crescimento da área foliar e uma arquitetura foliar que reduza ao máximo o auto sombreamento.

Também são formas de manipulação ambiental, as disposições de plantio, no qual as plantas são distribuídas, a uma dada densidade; a direção das linhas de plantio,

de uma forma geral, linhas de plantio na direção norte-sul propiciam melhor padrão de interceptação da luz e maiores produções de que linhas na direção leste-oeste. Entretanto, em algumas situações, a direção de plantio pode não ser a mais favorável para a produção da cultura em função do excesso localizado de exposição solar (BERNARDES, 1987), ou por não favorecer a circulação de ar, aumentando a incidência de doenças.

Para o milho manifestar sua elevada capacidade de produção de biomassa, é necessário que a planta apresente adequada estrutura de interceptação da radiação disponível, que somente poderá ser obtida quando for evidenciado pelo menos 85-90% de sua área foliar máxima. Assim quanto mais rapidamente tal condição for atingida maior será a taxa de crescimento e a garantia de velocidade metabólica satisfatória (FANCELLI, 2002).

Os valores ótimos de interceptação da radiação incidente (90-95% da área foliar máxima) para a cultura de milho são funções da disponibilidade de água, de nutrientes, temperatura, da população de plantas e, sobretudo, da distribuição espacial das plantas na área (FANCELLI, 2002).

2.2 RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio seja do solo ou do fertilizante, pode ser absorvido pelas raízes, tanto na forma amoniacal como na forma nítrica, sendo a principal forma de nitrogênio absorvido pelas raízes é a nítrica.

O contato íon-raiz se dá principalmente por fluxo de massa, em torno de 99 % e é, entre os elementos essenciais, o que é absorvido em maior quantidade pelo milho, sendo exigido durante todo o ciclo da planta.

Trabalhos recentes têm evidenciado resposta significativa do milho à aplicação de nitrogênio, no período compreendido entre os estádios V_4 e V_{10} . Aplicações tardias de nitrogênio à cultura (próximo ao pendoamento e florescimento) podem contribuir para uma maior incidência de doenças (FANCELLI, 2002).

O nitrogênio é importante no estágio inicial de desenvolvimento da planta (2ª semana após a emergência), quando ela está com quatro folhas totalmente desdobradas (estádio V₄), pois esta é a fase em que o sistema radicular, em desenvolvimento, já mostra considerável porcentagem de pelos absorventes e ramificações diferenciadas, e a adição de nitrogênio estimula sua proliferação, com conseqüente desenvolvimento da parte aérea. Também neste estágio tem início o processo de diferenciação floral, o qual origina os primórdios da panícula e da espiga, bem como define o potencial de produção (YAMADA, 2000).

Segundo Ferreira et al. (2001), em experimento conduzido em Coimbra – MG, em um solo Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, na safra 1994/1995, híbrido precoce AG 612, com uma população de 50.000 plantas ha⁻¹, com espaçamento de 1,00 m entre linhas, visando avaliar os efeitos da adubação com nitrogênio, molibdênio e zinco sobre a produção e qualidade de grãos de milho concluiu que: a produtividade de grãos, o peso das espigas com e sem palha, o peso de mil grãos e o número de espigas por planta foram positivamente influenciadas pelo incremento nas doses de nitrogênio (0,70,140 e 210 kg ha⁻¹).

Segundo Bortolini et al. (2001), dos componentes do rendimento, o número de grãos por espiga é o que está mais associado ao rendimento de grãos em razão da dose e época de aplicação de nitrogênio.

Estima-se que a necessidade de nitrogênio para produção de uma tonelada de grãos de milho varie de 20 a 28 kg ha⁻¹. A sua absorção pela planta ocorre durante todo o ciclo vegetativo, sendo pequena nos primeiros 30 dias (ARGENTA et al., 2002).

A utilização de plantas com folhas eretas, estreitas, pode contribuir para aumentar a eficiência de uso da radiação solar do milho plantado em altas densidades e melhorar a eficiência no uso do nitrogênio pelas plantas (AMARAL FILHO et al., 2002).

Segundo Amaral Filho et al. (2005), em um experimento com o híbrido AG 9010, em plantio direto, em Jaboticabal – SP, em solo Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, dois espaçamentos entre linhas (0,80 e 0,60 m), três densidades populacionais (40.000, 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) e quatro doses de N (0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹) verificou que o aumento nas doses de nitrogênio de 0 kg ha⁻¹ para

150 kg ha⁻¹ proporcionou um incremento no número de grãos por espiga, na massa de mil grãos e na produtividade de grãos. O espaçamento entre linhas de 0,60 m, com 80.000 plantas ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹ de N apresentou a maior produtividade e plantas sob espaçamento de 0,80 m entre linhas, população 40.000 plantas ha⁻¹ e sem adubação nitrogenada apresentou a menor produtividade. A redução do espaçamento entre linhas possibilitou menor ângulo de inserção da folha com o colmo, gerando maior produtividade de grãos.

Santos et al. (2004), avaliaram três cultivares de milho (UFVM 100, AG 9010 e AG 1051), na safra 2003/2004, em Coimbra – MG, três doses de adubação nitrogenada: 0 kg ha⁻¹, 120 kg ha⁻¹ no plantio e 30 kg ha⁻¹ no plantio e 90 kg ha⁻¹ em cobertura; dois espaçamentos (0,50 m e 1,00 m). O espaçamento de 0,50 m proporcionou aumento de produção, com a população utilizada em todas as cultivares. Independente da cultivar a adubação com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio no plantio não difere do tratamento com 30 kg ha⁻¹ no plantio e 90 kg ha⁻¹ em cobertura.

As exigências nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. Esta extração dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada (COELHO & FRANÇA, 1995). Os mesmos autores, afirmam que, dentre os nutrientes, a importância do nitrogênio e do potássio sobressai quando o sistema de produção agrícola passa de extrativa, com baixas produções por unidade de área, para uma agricultura intensiva e tecnificada, com o uso da irrigação, por exemplo.

Bortolini et al. (2001), enfatizam que o nitrogênio é o elemento que mais freqüentemente limita o rendimento de grãos de milho, mas também é o que proporciona as maiores respostas de rendimento de grãos da cultura. A produtividade de grãos de milho é influenciada pela disponibilidade de nitrogênio no solo durante o ciclo de desenvolvimento da planta.

O aumento da produtividade proporcionado pelo nitrogênio pode ser atribuído aos seus efeitos sobre o crescimento do sistema radicular e sobre o aumento do comprimento da espiga e do número de espigas por planta (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

Vários são os fatores que afetam a eficiência da adubação nitrogenada de cobertura. Entre esses, quatro são considerados muito importantes para o produtor no momento da tomada de decisão: a época de aplicação, a fonte de nitrogênio a ser adquirida, a quantidade a ser aplicada e o método a ser empregado para sua aplicação (BARBOSA FILHO & SILVA, 2001).

O nitrogênio afeta diretamente a área foliar, em consequência altera a taxa de fotossíntese das plantas. Interfere positivamente no crescimento do sistema radicular e, desta forma, permite que as raízes explorem maior volume de solo, melhorando a absorção de nutrientes e água (NUMMER FILHO et al., 2002).

O nitrogênio é componente quantitativo da fitomassa, e ocupa a quarta posição, após o carbono, o oxigênio e hidrogênio. A energia e a estrutura para a incorporação do nitrogênio são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, o qual, por sua vez, depende da fotossíntese. Fechando um ciclo de interdependência metabólica, a fotossíntese depende de compostos contendo nitrogênio. Dessa forma, o crescimento em massa da planta é limitado, sobretudo, pela oferta de nitrogênio (LARCHER, 2000).

2.2.1 Fatores que Afetam a Resposta do Milho à Adubação Nitrogenada em Semeadura Direta

A recomendação de adubação nitrogenada na cultura do milho é baseada no teor de matéria orgânica no solo, na expectativa de rendimento de grãos e no histórico de utilização da área. No entanto, existem vários outros fatores que poderão interferir na resposta do milho à aplicação de nitrogênio em semeadura direta após aveia, que deveriam ser levados em consideração na recomendação de adubação deste nutriente (ARGENTA & SILVA, 1999). Dentre estes fatores, destaca-se a disponibilidade inicial de nitrogênio no solo, o tipo de seqüência de culturas em sucessão, o sistema de rotação de culturas e o tempo de adição do sistema de semeadura direta.

A disponibilidade de nitrogênio no solo e, portanto, a resposta à adubação nitrogenada pela cultura do milho, em sucessão à aveia preta, depende dos processos

microbianos de imobilização e mineralização ocorrentes durante a decomposição dos resíduos culturais. A diferença de intensidade entre estes dois processos simultâneos e opostos poderá resultar em aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo ou na diminuição (ARGENTA & SILVA, 1999).

A decomposição dos resíduos orgânicos é um processo essencialmente biológico, sujeito à interferência de diversos fatores. Entre estes, a relação C/N assume importante papel na mineralização e imobilização do N-mineral da solução do solo. O cultivo de milho na seqüência de espécies com elevada ou baixa relação C/N apresenta respostas diferenciadas quanto à utilização de nitrogênio, e o fluxo de liberação de nitrogênio ao sistema será sensivelmente influenciado por esta relação. A decomposição de um resíduo com relação C/N igual a 30 fornece exatamente a quantidade de N necessária aos microrganismos neste processo. Se a relação C/N for menor que 30, haverá sobra de N, sendo esta disponível para as plantas a curto prazo. Se for alta (> 30), haverá falta de N em relação à quantidade de energia disponível e os microrganismos competem com as plantas pelo N, podendo imobilizar também o N mineral (NH_4^+ e NO_3^-) que houver no solo, induzindo assim uma deficiência temporária de N para as plantas (SÁ, 1996). Segundo Derpsch (1984), a aveia preta possui elevada capacidade de extração a acumulação de nitrogênio na planta e, neste caso, a liberação de nitrogênio após o período de imobilização, provavelmente, coincide com a emissão da espiga e o início de florescimento do milho, momento em que ocorre elevada utilização de nitrogênio na planta.

O tempo de adoção do sistema de semeadura direta influencia a resposta do milho à adubação nitrogenada. Na fase inicial de adoção do sistema, observa-se maior necessidade de utilização de nitrogênio (SÁ, 1996). Segundo o mesmo autor, após o quarto ano de implantação, inicia-se o restabelecimento do equilíbrio das transformações que ocorrem no solo, à medida que a reposição dos resíduos culturais proporciona acúmulo de nitrogênio orgânico na camada superficial. Após 9 a 12 anos de semeadura direta, observa-se maior liberação de nitrogênio para o sistema, havendo menor resposta à adubação nitrogenada.

As evidências indicam que a resposta ao manejo de nitrogênio poderá ser altamente variável, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são fortemente influenciados pelo ambiente (ARGENTA & SILVA, 1999).

2.2.2 Adubação nitrogenada do milho

O fertilizante aplicado ao solo é, também, envolvido nas várias reações do nitrogênio no solo. Por isso, na prática, é muito difícil determinar a quantidade exata de nitrogênio que o milho necessita para atingir a produção máxima econômica, pois sua disponibilidade no solo é um processo dinâmico e varia com as mudanças no teor de umidade e temperatura do solo, tipo de fertilizante, ocorrência de doenças, pragas e plantas daninhas e práticas de manejo da cultura. Assim as recomendações de adubação são sempre uma aproximação (YAMADA, 2000).

2.3 RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento absorvido em maior quantidade pelo milho, sendo que 20% são exportados nos grãos. Estima-se que a necessidade de potássio para a produção de uma tonelada de grãos de milho esta em torno de 4,3 kg ha⁻¹ (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

O potássio é absorvido pelas plantas da solução do solo, na forma iônica de K⁺. A absorção depende principalmente da difusão do elemento através da solução do solo e, em proporção menor, de fluxo em massa.

Como o aumento da produção de grãos está diretamente relacionado com o maior transporte e armazenamento de fotoassimilados nos grãos, o teor de potássio tende também a aumentar, pois ele participa do transporte de sacarose e fotoassimilados no sentido da fonte para o dreno (MARSCHNER, 1995).

O potássio é importante nos processos que controlam o uso de água pela planta, o potássio é o mais importante soluto inorgânico em plantas que é osmoticamente ativo, sendo significativo no crescimento e na extensão celular. Plantas adequadamente supridas com potássio têm menor necessidade de água e menor perda

de água por causa da reduzida taxa de transpiração e da ação deste nutriente como agente osmótico no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos. Isto resulta em maior eficiência de uso da água pela cultura do milho (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

Além de aumentar a taxa de assimilação de CO_2 , o potássio melhora a eficiência de utilização da luz pela cultura do milho, relacionando-se este efeito ao aumento da área foliar proporcionado pelo potássio (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

As respostas do milho ao potássio são caracterizadas em geral, pela precocidade do aparecimento da inflorescência feminina, uniformidade de maturação, resistência do colmo e maior peso de grãos, redução do acamamento. Níveis inadequados de potássio ocasionam espigas palhentas e flexíveis e severo índice de aborto de grãos no topo da espiga, resultando em baixas produções e em menor peso de grãos (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

Deve-se ter muito critério na definição da quantidade a ser aplicada na semeadura, pois a fonte desse nutriente (cloreto de potássio, principalmente) pode afetar significativamente a arquitetura da raiz e a germinação das sementes, pelo efeito salino. A salinização do sulco de semeadura afeta sobremaneira a taxa de crescimento e a distribuição das raízes (FANCELLI, 2002).

Muitos experimentos suportam a hipótese que a absorção e o transporte do NO_3^- para a parte aérea das plantas, via xilema, envolve o K^+ , assim como sua descida via floema com o malato. O malato transportado para as raízes com o K^+ é descarboxilado para piruvato e HCO_3^- . O HCO_3^- pode então ser trocado pelo NO_3^- , produzindo então o aumento de pH na rizosfera. A ciclagem do K^+ é o componente chave deste modelo, que para funcionar depende de adequada concentração de potássio no solo (YAMADA, 2002c).

2.4 INTERAÇÃO NITROGÊNIO X POTÁSSIO

A interação entre N e K afeta significativamente os processos de absorção, transporte, redistribuição e metabolismo, com reflexos altamente positivos no

desenvolvimento das plantas. A interação do nitrogênio e potássio obedece à Lei do Mínimo, pois quando o nitrogênio é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, essa passa a ser limitada pelos baixos teores de potássio aplicados ao solo. Aplicações elevadas de nitrogênio sem um aumento correspondente de potássio podem resultar em relações N:K inadequadas dentro da planta, com conseqüente queda de produção de biomassa (BÜLL & CANTARELLA, 1993).

Pesquisas diversas para milho mostraram respostas à interação N x K, e dentro da dose de 120 kg de N ha⁻¹ observaram-se respostas positivas a potássio até a relação N/K de 1:1,3 com tendência à resposta para relações maiores (YAMADA, 1997).

A relação N/K na adubação do milho foi estudada por Araujo et al. (1997), foram avaliados os efeitos da adubação nitrogenada e potássica na cultura de milho irrigado, em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, mediante a avaliação de três níveis de N (80, 120 e 160 kg ha⁻¹) e K (40, 70 e 100 kg ha⁻¹), com o híbrido triplo Cargill 805, ciclo precoce, população de 55.000 plantas ha⁻¹. Os resultados desse trabalho evidenciaram efeito significativo para as doses de N e de K, bem como para sua interação, na produção, demonstrando haver um incremento crescente na produtividade do milho em função do aumento da dose de K em relação ao N, quando empregada via adubação. As doses econômicas foram 152 kg ha⁻¹ de N e 79 kg ha⁻¹ de K₂O e a produtividade estimada de 9234 kg ha⁻¹.

Respostas ao potássio têm sido observadas mesmo em solos com teores de potássio de médio a alto (> 0,2 cmol_c dm⁻³) desde que adequadamente adubados com nitrogênio (YAMADA, 1997).

Ajay et al. (1970), citado por Dibb e Thompson (1985) relatou que quando as plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*) receberam continuamente N como NH₄⁺, foram produzidas severas lesões no talo a menos que K⁺ fosse adicionado com taxas equivalentes. Eles concluíram que K⁺ não competia com NH₄⁺ na absorção da planta, evitando assim a toxicidade de NH₃.

Comparando o efeito de NH₄⁺ e NO₃⁻ no crescimento do milho em casa de vegetação, Dibb e Welch (1976), citados por Dibb e Thompson (1985) observaram lesões na folha de milho semelhante às aquelas descritas por Ajay et al. (1970), no

tomate. As lesões ocorreram nas duas doses mais baixas de K que tinham recebido NH_4^+ .

Em um experimento de hidroponia em casa de vegetação, Mc Leod (1969), citado por Dibb & Thompson (1985), relatou que a resposta de cevada para aumentar as concentrações de N dependia dos níveis de potássio em amostra de planta inteira. Resposta da adição de nitrogênio foi restringida a menos que a adição de K^+ fosse suficiente. A produção de biomassa nos estágios vegetativos iniciais e a produção de grãos e palha na maturidade foram obtidas com a adição das doses mais altas de K.

Monteiro et al. (1980), constataram limitação de resposta à adubação nitrogenada e verificaram que era devido ao fornecimento inadequado de potássio às plantas de capim colômbio, o que sugere uma relação entre a absorção e o aproveitamento destes dois macronutrientes. Esses autores estudaram os efeitos da reaplicação de nitrogênio e da adubação com cloreto de potássio com as doses (0 e 167 kg ha^{-1}) e verificaram efeitos significativos do potássio na produção de massa seca e na concentração desse nutriente na gramínea, *Panicum maximum* Jacq (capim colômbio).

Segundo Mellis et al. (2004), à medida que se tem a intensificação da adubação nitrogenada torna-se imprescindível a aplicação também de potássio, pois apesar deste elemento não ter apresentado influência significativa no perfilhamento, no número de folhas expandidas e na área foliar do capim Tanzânia, houve o incremento da massa seca total, com a combinação das doses mais altas de N com as doses de K.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado na área do Centro Tecnológico Coopavel (CTC), localizado no município de Cascavel - PR, sob as coordenadas: longitude 53°28'30"NW e latitude 24°57'30" NS, com altitude média de 760 m, média anual de chuvas de 2500 mm, temperaturas médias variando de 15 a 28°C.

O zoneamento agrícola para o município de Cascavel para a cultura do milho é no período de 01/09 a 30/11.

O solo da área do Centro Tecnológico Coopavel (CTC) é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 1999). Os resultados da análise química e granulométrica do solo encontram-se na tabela 1.

Tabela 1- Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho eutroférico nas profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm

Prof	pH	MO ⁽⁵⁾	Al ⁽²⁾	H+Al	K ⁽¹⁾	Ca ⁽²⁾	Mg ⁽²⁾	CTC	P ⁽¹⁾	S ⁽⁴⁾
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			--mg dm ⁻³ --	
0-10	5,3	34,66	0,00	5,35	0,37	5,40	2,70	13,82	8,57	12,5
10-20	5,3	37,56	0,00	5,35	0,35	6,46	3,60	15,76	6,26	-

Prof	Fe ⁽¹⁾	Mn ⁽¹⁾	Cu ⁽¹⁾	Zn ⁽¹⁾	B ⁽³⁾	V	Areia	Silte	Argila
cm	-----mg dm ⁻³ -----					%	-----g kg ⁻¹ -----		
0-10	58,07	175,99	5,99	7,13	0,19	74,25	84,0	272,5	643,5
10-20	32,01	167,06	4,44	5,12	-	68,36			

⁽¹⁾ Extrator Mehlich-1; ⁽²⁾ Extrator KCl; ⁽³⁾ Extrator HCl 0,05 mol.L⁻¹; ⁽⁴⁾ Extrator Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg.L⁻¹ em H OAC 2 mol.L⁻¹; ⁽⁵⁾ Método Walkey-Black.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental consistiu de blocos inteiramente casualizados, dispostos em parcelas subdivididas. Os tratamentos envolvendo adubação nitrogenada e potássica foram arranjados de acordo com a matriz experimental “Box Berard aumentada (3)” de acordo com Leite (1984), obtendo 13 arranjos de adubação apresentados na tabela 2. Estes tratamentos foram alocados nas subparcelas e na parcela principal foram alocados os espaçamentos totalizando 39 tratamentos.

Tabela 2 - Combinações de adubação nitrogenada e potássica de acordo com a matriz “Box Berard aumentada (3)”

Arranjo de adubação	Dose (kg ha ⁻¹)	
	N	K ₂ O
1	40	15
2	40	45
3	120	15
4	120	45
5	20	30
6	140	30
7	80	7,5
8	80	52,5
9	8	15
10	40	3
11	152	45
12	120	57
13	80	30

Na tabela 3 é apresentado um resumo da análise de variância utilizada.

Tabela 3 - Resumo de análise de variância

Causa de Variação	Graus liberdade
Blocos	3
Espaçamentos	2
Erro (a)	6
Adubação	(12)
Efeito de N	6
Efeito de K	6
Espaçamento X Adubação	24
Erro(b)	108
Total	155

Os arranjos foram determinados pela fórmula da matriz experimental “Box Berard aumentada (3)” ($2^K + 2K + 2K + 1$, sendo K, fatores em estudo, igual a 2) de acordo com Leite (1984).

Os níveis dos tratamentos para os dois fatores em estudo (N e K) que foram determinados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Níveis dos tratamentos nitrogenados e potássicos

Nº Tratamentos	Níveis	
	Nitrogênio (A)	Potássio (B)
1	-1	-1
2	-1	1
3	1	-1
4	1	1
5	-1,5	0
6	1,5	0
7	0	-1,5
8	0	1,5
9	-1,8	-1
10	-1	-1,8
11	1,8	1
12	1	1,8
13	0	0

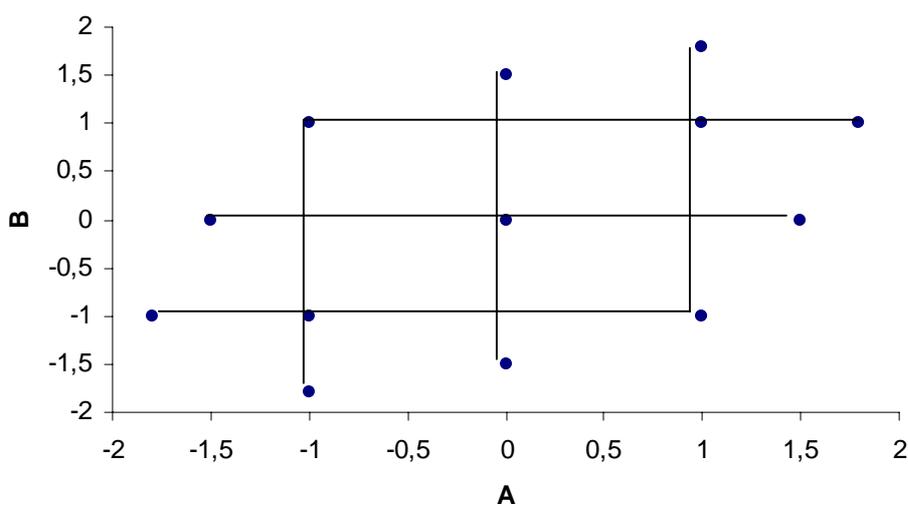


Figura 1- Níveis de combinações da Matriz Box Berard aumentada (3) para nitrogênio e potássio.

O espaço experimental foi determinado pelas doses de nitrogênio ($0 - 160 \text{ kg ha}^{-1}$) e potássio ($0 - 60 \text{ kg ha}^{-1}$), conforme tabela 5, eliminaram-se os níveis (-2,0) e (2,0) e foram usados os sete níveis intermediários para realizar as combinações das adubações nitrogenadas e potássicas.

Tabela 5 – Doses de nitrogênio e potássio obtidas de acordo com a matriz experimental Box Berard aumentada (3)

Níveis	-2,0	-1,8	-1,5	-1,0	0,0	1,0	1,5	1,8	2,0
N (N kg ha^{-1})	0	8	20	40	80	120	140	152	160
K ($\text{K}_2\text{O kg ha}^{-1}$)	0	3	7,5	15	30	45	52,5	57	60

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O sistema de cultivo foi plantio direto, sob a cultura de aveia preta plantada anteriormente. A dessecação foi realizada com glifosate (480 g L^{-1}). Para operacionalização do experimento, foram abertos sulcos com plantadeira acoplada ao trator com profundidade aproximada de 5 a 8 cm, utilizando como adubação de base 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 como superfosfato triplo e 40 kg ha^{-1} de nitrogênio, como sulfato de amônio, de acordo com Oliveira et al. (1989).

A semeadura foi realizada no dia 04 de outubro de 2004. O híbrido utilizado foi o Penta, da empresa Syngenta, cujas características são: híbrido simples, ciclo precoce, de porte médio, altamente responsivo à adubação, de grão duro alaranjado, recomendado para plantio em altitudes acima de 700 metros. As sementes foram tratadas com o inseticida de princípio ativo thiametoxan (700 g kg^{-1}) na dosagem de 60 g ha^{-1} . A semeadura do milho foi realizada manualmente, utilizando-se semeadora manual (matraca), colocando-se três a quatro sementes por cova. O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-inicial com aplicação do herbicida de princípio ativo atrazine (250 g L^{-1}) + simazine (250 g L^{-1}), na dosagem de 7 litros ha^{-1} . Após a emergência da cultura, quando as plantas de milho estavam com duas a quatro folhas expandidas, fez-se o desbaste ajustando o número de plantas à densidade estabelecida

de 55.000 plantas ha^{-1} , de forma que para os espaçamentos de 0,45; 0,67 e 0,90 m ficaram 2,5; 3,7 e 5,0 plantas por metro linear, respectivamente. Foram realizadas duas aplicações de inseticida de princípio ativo Novaluron (100 g L^{-1}), na dosagem de 150 mL ha^{-1} , para controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

Os adubos nitrogenados e potássicos foram aplicados em cobertura quando as plantas estavam no estágio V8, com 6 a 8 folhas totalmente desenvolvidas, aproximadamente no ponto de diferenciação do pendão floral. Foram utilizadas as seguintes fontes, sulfato de amônio e cloreto de potássio.

As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de semeadura de 6 metros de comprimento, espaçadas de 0,45 m; 0,67 m e 0,90 m entre linhas, com uma população de 55.000 plantas ha^{-1} , adequadas a cada espaçamento, com quatro repetições, obtendo-se 10,8; 16,08 e $21,6 \text{ m}^2$ por parcela. A área útil para as avaliações foi constituída das duas linhas centrais excluindo 0,50 m em cada extremidade, ficando com 4,5; 6,7 e $9,0 \text{ m}^2$ por parcela, respectivamente.

3.4 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica do ciclo da cultura do milho são apresentados na figura 2.

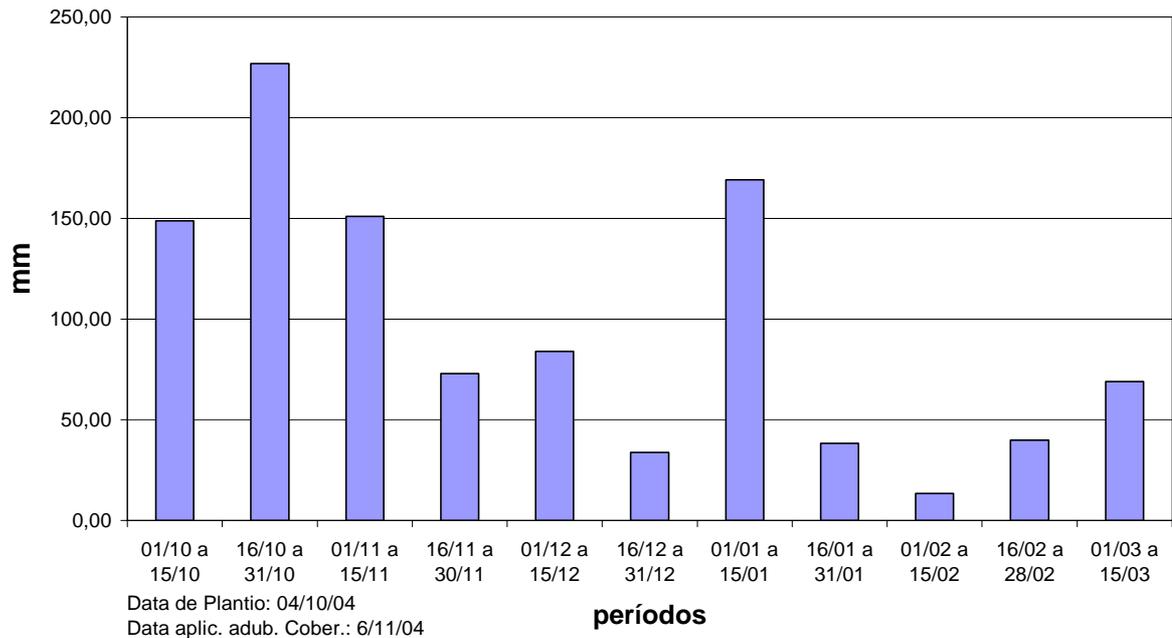


Figura 2 – Precipitação pluviométrica no período de 01/10/04 a 15/03/05, Centro Tecnológico Coopavel, Cascavel – PR.

3.5 AVALIAÇÕES E COLETA DE DADOS

3.5.1 Coleta de Folhas e Determinação de Teores de Nutrientes

A coleta foi realizada no aparecimento da inflorescência feminina (estádio R1), onde foram coletadas ao acaso, dentro da parcela, a primeira folha oposta abaixo da espiga, de 10 plantas da parcela útil, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas da UNIOESTE, onde foram secas

em estufa de ventilação forçada à 65°C até peso constante, sendo posteriormente moídas e homogeneizadas.

Amostras de 0,2 g de tecido foliar, secas e moídas, foram submetidas à digestão sulfúrica. Nos extratos, o teor de K foi determinado por fotometria de chama, e o teor de N foi determinado por arraste de vapores, em aparelho semi-micro-Kjeldahl, de acordo com Tedesco et al. (1995) e o teor de P por espectrofotometria UV-VIS de acordo com Braga e Defelipo (1974).

3.5.2 Variáveis Biométricas

Após 97 dias de cultivo (estádio R2) foram avaliadas as seguintes variáveis biométricas:

Altura de planta - Distância média (m) compreendida entre o nível do solo e o ápice do pendão. Os dados foram obtidos pela média de 10 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil das parcelas, para cada espaçamento.

Altura de inserção da primeira espiga - Distância média (m) entre o nível do solo e a inserção da primeira espiga formada no colmo, os dados foram obtidos pela média de 10 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil da parcela, para cada espaçamento.

Após a colheita das espigas foram avaliadas a produção de biomassa seca e biomassa seca total - foram coletadas 10 plantas, aleatoriamente dentro de três parcelas experimentais, de cada espaçamento, totalizando nove parcelas amostradas. As plantas foram cortadas rente ao solo (folhas, colmos, palhas da espiga, exceto os grãos e sabugos). O material foi levado para secar em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas e então pesadas em balança de precisão para determinação do teor de umidade individual de cada parcela, em seguida obteve-se a média das três parcelas. Para o espaçamento de 0,45 m, o teor de umidade residual foi 6,37 %; 13,34 % para o espaçamento 0,67 m e de 28,54 % para o espaçamento 0,90 m, extrapolando-se estes valores de umidade para as demais parcelas de cada espaçamento, para posterior avaliação da biomassa seca por parcela, extrapolando em seguida para kg ha⁻¹. Para o

cálculo da biomassa seca total foi considerado também o peso seco dos grãos e peso seco dos sabugos, corrigidos de acordo com o teor de umidade dos grãos.

3.5.3 Componentes da Produção

Após a colheita foram avaliados os seguintes componentes da produção, para cada tratamento:

Massa de 100 grãos - Foi obtido pelo cálculo da média de quatro sub amostras de 100 grãos tomadas ao acaso dos grãos colhidos para avaliar a produtividade. Com umidade corrigida para 13%.

Massa de grão por espiga - Determinada por meio da média de 10 espigas tomadas ao acaso entre as espigas colhidas para determinação da produtividade, corrigidas para 13 % de umidade.

Número de fileiras por espiga - Contagem total do número de fileiras de grãos de 10 espigas sendo, posteriormente, calculada a média.

Número de espigas por planta - Foram obtidas no momento da colheita, coletando-se 10 plantas aleatoriamente da parcela e contou-se o número de espigas de cada planta.

Porcentagem de plantas acamadas e quebradas - Foram avaliadas as duas linhas centrais de cada parcela, dentro da área útil, e contadas as plantas acamadas e quebradas.

Produtividade e colheita - A colheita do milho foi realizada manualmente, sendo os grãos processados em trilhadeira estacionária. A avaliação da produtividade de cada área útil das parcelas foi realizada por meio da pesagem dos grãos em balança semi-analítica, corrigindo-se para umidade de 13 % base úmida e, posteriormente, estimando-se a produtividade em kg ha^{-1} .

3.5.4 Teores de Nutrientes nos Grãos

Os grãos foram triturados em moinho tipo facas e passado em peneira de 2 mm. Nos extratos, o teor de K foi determinado por fotometria de chama, e o teor de N foi determinado por arraste de vapores, em aparelho semi-micro- Kjeldahl, de acordo com Tedesco et al. (1995) e o teor de P por espectrofotometria UV-VIS de acordo com Braga e Defelipo (1974).

3.5.5 Teores de Nutrientes de Solo

Após o cultivo foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm. Para compor uma amostra composta, foram coletadas seis amostras simples em cada parcela e a cada profundidade. Das seis amostras simples, três foram coletadas nas linhas e três nas entre linhas, obtendo-se uma amostra composta. As amostras foram colocadas em estufa para secagem à aproximadamente 60°C por um período de 36 horas.

O solo foi triturado em moinho tipo martelo e passado em peneira de 2 mm. Nestas amostras foram analisados os teores de P e K, extraídos pelo extrator Mehlich-1. Nos extratos os teores de K foram determinados por fotometria de chama e P por espectrofotometria UV-VIS de acordo com metodologia de Braga e Defelipo (1974).

3.5.6 Índices de eficiência

Foram calculadas as eficiências de uso dos nutrientes nitrogênio e potássio, de acordo com índices propostos por Moll et al. (1982) e Siddiqi e Glass (1981).

a) Eficiência de uso do nutriente total: (EUNT) = quantidade de produto colhido (Y) por unidade de nutriente acumulado na parte aérea total (Nab).

$$EUN = Y/Nab = (\text{kg kg}^{-1})$$

b) Eficiência de uso do nutriente no grão (EUNg) = produção de grãos (Y) em relação a quantidade de nutriente nos grãos (QNg).

$$EUNg = Y/QNg = (\text{kg kg}^{-1})$$

c) Eficiência de absorção (EA) = nutriente acumulado na parte aérea total inclusive grão em relação à quantidade do nutriente aplicado (QNa).

$$EA = Nab/QNa = (\text{kg kg}^{-1})$$

d) Eficiência de uso do fertilizante (EUF) = produção de grãos (Y) em relação à quantidade do nutriente aplicado (QNa).

$$EUF = Y/QNa = (\text{kg kg}^{-1})$$

3.5.7 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e havendo efeito significativo de adubação, este foi desdobrado em efeitos de N e K por meio de análise de regressão utilizando o programa SAEG 8.0 (1999). Havendo interação entre espaçamento e adubação, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultura do milho exige um mínimo de 400-600 mm de precipitação pluviométrica para que possa manifestar seu potencial produtivo, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação, sendo que seu uso consuntivo, freqüentemente, oscila entre 4 a 6 mm por dia (FANCELLI, 2002). No ciclo da cultura, ocorreu precipitação de 971,8 mm, dando uma média de 5,85 mm por dia, conforme figura 2. Provavelmente no estágio inicial a disponibilidade de água não afetou o desenvolvimento vegetativo. Nos estádios seguintes florescimento e enchimento de grãos a distribuição foi anormal concentrando-se em determinados períodos, conseqüentemente, afetando a produtividade.

Durante o ciclo da cultura a temperatura mínima variou de 13,9 °C a 19,2 °C e a temperatura máxima variou de 24,4 °C a 29,8 °C. Ocorrendo então temperaturas ideais para o desenvolvimento da cultura de milho desde a germinação, crescimento, desenvolvimento das plantas até a colheita, segundo Fancelli (2002).

4.1 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E COMPONENTES DA PRODUÇÃO

As variáveis biométricas, altura de planta, altura de inserção de espiga, e os componentes da produção, número de fileiras de grãos e massa de 100 grãos, não apresentaram diferença significativa em função do espaçamento e entre as doses de adubação em cobertura com N e K (Tabela 6). O efeito do espaçamento sobre a altura de plantas foi semelhante ao resultado obtido por Casagrande e Fornasieri Filho (2002), que avaliaram dois híbridos de milho e quatro doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) e observaram a altura de plantas similar e não encontraram diferença

estatística entre as doses de N e também a adubação nitrogenada não influenciou na massa de 100 grãos, já Gross et al. (2005), observaram resultado contrário, no espaçamento de 0,90 m entre linhas ocorreu maior altura de plantas que no espaçamento de 0,45 m. Quanto a variável altura de inserção de espiga, também foi observado por Rizzardi et al. (1994) que não houve diferença estatística entre os espaçamentos testados (0,70 e 0,90 m). Quanto ao efeito do espaçamento sobre a massa de 100 grãos foi semelhante ao observado por Amaral Filho et al. (2002), em um experimento com dois espaçamentos entre linhas (0,80 e 0,60 m) e três densidades populacionais (40.000, 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) e quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹). Quanto ao efeito do espaçamento sobre o número de fileiras, contraria ao resultado obtido por Dourado Neto et al. (2003), que avaliou três populações de plantas (30.000, 60.000 e 90.000 plantas ha⁻¹), dois espaçamentos (0,40 e 0,80 m) e três híbridos de milho e observou que a redução do espaçamento entre linhas promoveu aumento significativo do número de fileiras por espiga.

Tabela 6 - Resumo da Análise de Variância e médias de altura de plantas, altura de inserção de espiga, plantas acamadas, número de fileiras, massa de 100 grãos, massa de grão por espiga, biomassa seca total e produtividade, em plantas de milho, híbrido Penta em função do espaçamento entre linhas

Espaçamento	Altura		Plantas acamadas	Número fileiras	Massa 100 grãos	Massa grão/espiga	Biomassa seca total	Produtividade
	Altura planta	inserção espiga						
	-----m-----				-----g-----		-----kg ha ⁻¹ -----	
0,45	2,42	1,23	1,13 b	15,93	36,25	191,11 ab	19339,00 a	9919,32
0,67	2,45	1,18	3,19 a	16,05	36,39	185,51 b	17516,67 b	9557,77
0,90	2,44	1,22	0,81 b	15,92	36,88	192,91 a	16757,50 b	9374,36
Fesp	0,70 ^{ns}	2,64 ^{ns}	45,85 ^{**}	0,77 ^{ns}	1,93 ^{ns}	3,90 [*]	13,47 ^{**}	2,87 ^{ns}
Fadu	0,69 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,77 ^{ns}	2,79 ^{**}	3,93 ^{**}	2,68 ^{**}
Fdose/N	-	-	-	-	-	3,59 ^{**}	4,70 ^{**}	2,68 [*]
Fdose/K	-	-	-	-	-	0,98 ^{ns}	2,43 [*]	1,03 ^{ns}
Fesp x adu	1,28 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,83 ^{ns}
CV (%)	1,94	3,59	99,67	3,34	3,66	5,18	8,94	6,98

*e***: significativo em nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A variável plantas acamadas apresentou diferença significativa a 1 % de probabilidade pelo teste F. Com o espaçamento de 0,67 m houve maior ocorrência de

plantas acamadas que nos espaçamentos 0,45 e 0,90 m conforme tabela 6, possivelmente em função de influência de ventos nas parcelas de espaçamento 0,67 m.

A variável massa de grãos por espiga apresentou diferença significativa a 5 % de probabilidade pelo teste F para a variável espaçamento, sendo o espaçamento de 0,90 m superior ao espaçamento 0,67 m e não apresentando diferença em relação ao espaçamento 0,45 m.

Para a biomassa seca total, houve efeito significativo ao menor espaçamento, ou seja, houve maior incremento no peso de matéria seca de folhas, colmos, palhas da espiga, sabugo e grãos, com a redução do espaçamento. O espaçamento de 0,45 m proporciona melhor distribuição de plantas em relação aos espaçamentos 0,67 e 0,90 m e, conseqüentemente maior aproveitamento de luz, fato que explica a maior produção de biomassa seca total, como já tinha sido observado por Rosolem et al. (1997) quando em espaçamentos menores, as plantas são menos desenvolvidas, mas a produção de matéria seca por área é maior. Já os espaçamentos de 0,65 e 0,90 m não apresentaram diferença significativa entre eles.

Para a produtividade de grãos, não houve diferença significativa para o fator espaçamento. Possivelmente a competição intraespecífica, ocasionada pela variação no espaçamento entre linhas, não foi intensa o suficiente para afetar a produtividade de grãos, como já tinha sido observado por Rizzardi et al. (1994). O efeito produzido pela variação dos espaçamentos, na produtividade dos grãos (Tabela 6), em comparação com o espaçamento 0,45 m, a redução foi de 9,4 % com 0,67 m e 13,3 % com 0,90 m, portanto, observa-se uma tendência de aumento da produtividade com a redução do espaçamento entre linhas. Apesar não haver diferença significativa ocorreu incremento de 545 kg ha⁻¹ de milho (9 sacas ha⁻¹), mantendo a mesma população de plantas.

A produtividade de milho na safra normal na região de Cascavel - PR na safra 2004/2005 foi de 7.313 kg ha⁻¹ e a produtividade no Paraná foi de 5.069 kg ha⁻¹ (SEAB, 2006). Portanto a produtividade obtida no espaçamento menor (0,45 m) foi 35,6 % superior à média regional e 95,6% superior a média estadual.

Para adubação em cobertura com N e K houve diferença significativa da massa de grão por espiga, em relação às doses de N, ocorrendo um aumento de 0,071 g

por kg de N aplicado, mostrando que houve efeito linear (Figura 3). A adubação com K não influenciou a massa de grãos por espiga e a produtividade.

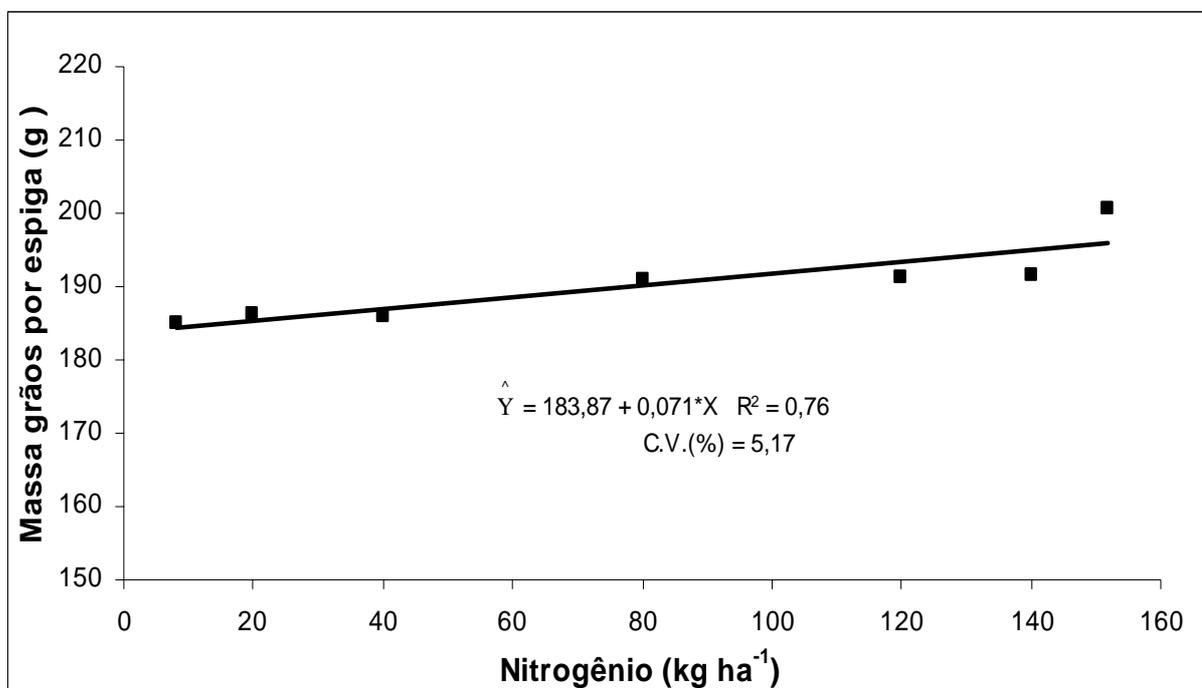


Figura 3 - Massa de grãos por espiga, em função das doses de nitrogênio, para o híbrido Penta.

Não houve diferença significativa para a interação entre os espaçamentos e as doses de adubação em cobertura nitrogenada e potássica, para produtividade e demais variáveis avaliadas (Tabela 6).

Apesar do efeito significativo da adubação potássica na produção de biomassa seca total, não foi possível ajustar uma equação, apresentando produção biomassa seca média de 18.022 kg ha⁻¹ em função das doses de K. Este resultado está de acordo com o teor inicial de K no solo que já estava alto (Tabela 1).

Houve efeito linear para a produção de biomassa seca total quanto à adubação nitrogenada. Pela análise de regressão ocorreu aumento de 15,5652 kg por kg de N aplicado (Figura 4). De acordo com Rosolem et al.(1997) quando em espaçamentos menores ou maiores populações, as plantas são menos desenvolvidas, resultando em maior acúmulo de nutrientes por área.

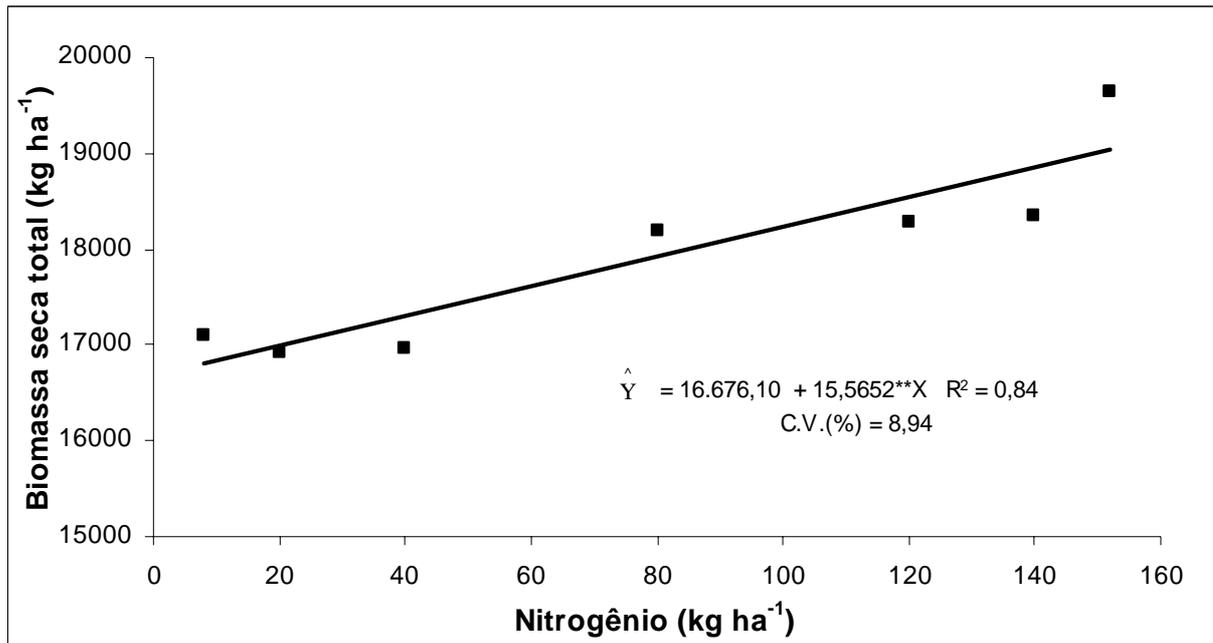


Figura 4 - Biomassa seca total, em função das doses de nitrogênio, para o híbrido Penta.

Ocorreu diferença significativa para a produtividade de grãos em função do aumento das doses de N em cobertura, ocorrendo acréscimos de 4,9578 kg de grãos por kg de N aplicado (Figura 5). Quando se considera a dose máxima utilizada de 152 kg ha⁻¹ de N, obtém-se a relação preço em reais do produto/preço do N-sulfato de amônio de R\$ 5,00/ R\$1,00. No caso foi considerado o preço de sulfato de amônio na região, e o preço do milho praticado pela Coopavel Cooperativa Agroindustrial no dia 25/07/2006. Obtendo-se, portanto, uma resposta econômica para a dose máxima de nitrogênio.

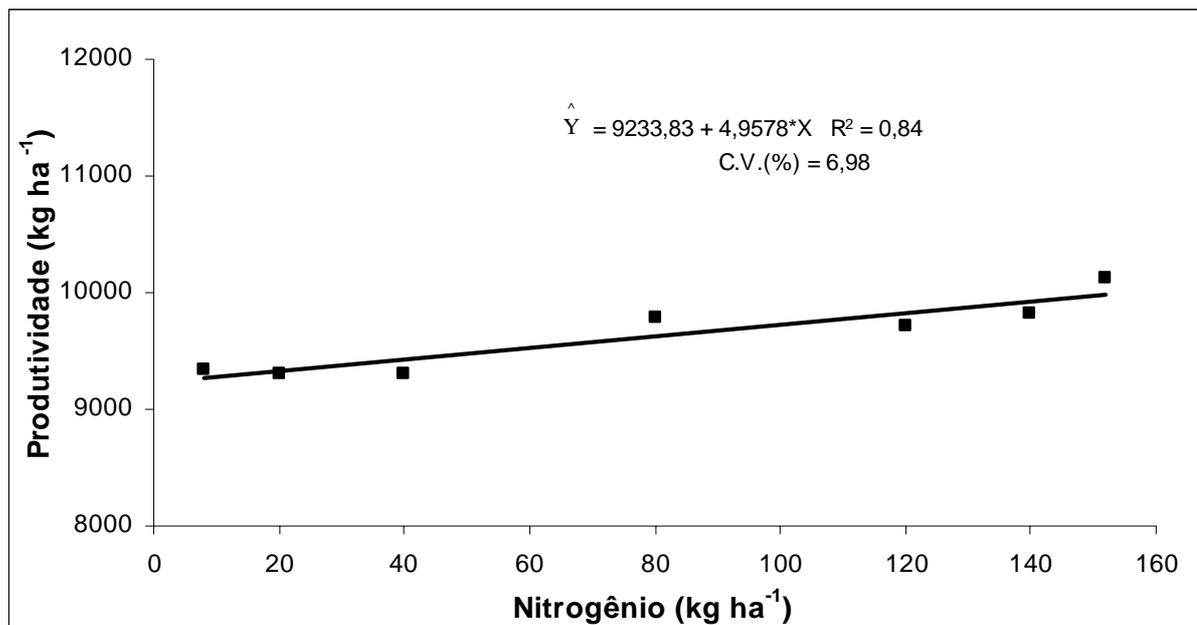


Figura 5 - Produtividade de grãos em função das doses de nitrogênio, para o híbrido Penta.

4.2 RESULTADOS DOS TEORES DE NPK NO SOLO, FOLIAR E NOS GRÃOS E PROTEÍNA NOS GRÃOS

Para a concentração de fósforo no solo a 10 e a 20 cm de profundidade, não houve diferenças significativas quanto ao espaçamento e adubação em cobertura, conforme tabela 7.

Quanto a concentração de potássio avaliada a 10 cm de profundidade, houve diferença altamente significativa para o fator espaçamento, sendo o espaçamento 0,90 m superior aos demais. No espaçamento 0,45 m houve menor teor de K no solo, indicando que as plantas de milho extraíram maior quantidade deste nutriente. Este fator possivelmente pode ser atribuído devido ao fato de que em espaçamentos menores há distribuição mais equidistante das plantas, fazendo com que ocorra uma melhor exploração do solo pelas raízes, em função da maior concentração radicular, aumentando a possibilidade de contato das raízes com os íons do solo, de acordo com Rosolem et al. (1997), que observou que plantas de sorgo cultivadas em espaçamentos menores, no caso 0,50 e 0,70 m entre linhas, parecem mais eficientes em explorar o

nutriente do solo. Entretanto, não houve efeito significativo para espaçamento e adubação em cobertura quanto ao teor de K avaliado a 20 cm de profundidade.

Tabela 7 - Resumo da Análise de Variância e médias de concentração de Fósforo e Potássio no solo nas profundidades de 10 e 20 cm, teores de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar e no grão e teor de proteína no grão, em plantas de milho, híbrido Penta em função da variação de espaçamentos entre linhas

Espaçamento	P10	P20	K10	K20	N Foliar	P Foliar	K Foliar	P Grão	K Grão	N Grão	Proteína	
(m)	----mg dm ⁻³ ----		---cmol _c dm ⁻³ ---		----- g kg ⁻¹ -----							%
0,45	6,74	4,80	0,42 c	0,39	22,35	2,78 a	20,56	1,87 b	2,69 b	13,80 b	8,62 b	
0,67	7,93	5,40	0,46 b	0,42	22,92	2,56 b	19,54	2,22 a	3,04 a	14,17 b	8,85 b	
0,90	6,84	5,10	0,51 a	0,41	22,67	2,42 c	20,19	1,73 b	2,66 b	14,92 a	9,33 a	
Fesp	1,27 ^{ns}	0,53 ^{ns}	15,89 ^{**}	0,95 ^{ns}	1,01 ^{ns}	11,24 ^{**}	0,94 ^{ns}	6,88 ^{**}	4,54 [*]	7,54 ^{**}	7,54 ^{**}	
Fadub	0,72 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,24 ^{ns}	2,66 ^{**}	1,58 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,58 ^{ns}	
Fdose N	-	-	-	-	1,87 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	
Fdose K	-	-	-	-	1,88 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	
Fesp x adub	0,71 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,11 ^{ns}	2,26 ^{**}	1,15 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,55 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,58 ^{ns}	
CV(%)	42,54	47,68	18,18	18,23	6,55	9,11	7,29	34,72	23,92	10,68	10,67	

*e**: significativo em nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com exceção do teor de N no tecido foliar, para as demais variáveis não houve efeito significativo de adubação e também não houve interação significativa entre espaçamento e adubação (Tabela 7).

A adubação nitrogenada em cobertura não influenciou nos teores de fósforo e potássio no tecido foliar e fósforo e potássio no grão, já Ferreira et al. (2001) observaram em um experimento de milho com quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹), que os teores de P e K aumentaram com a adubação nitrogenada.

Pela análise de regressão, houve efeito significativo do teor de N foliar em função das doses de adubação nitrogenada em cobertura apenas para o espaçamento 0,67 m. O efeito foi linear decrescente (Figura 6). Esta redução do teor de N foliar com aumento das doses de N em cobertura, possivelmente está relacionada ao efeito de diluição e a massa microbiana do solo, pois com a redução do espaçamento entre

linhas de 0,90 m para 0,67 m ocorreu aumento da produção de biomassa seca da parte aérea (Tabela 6).

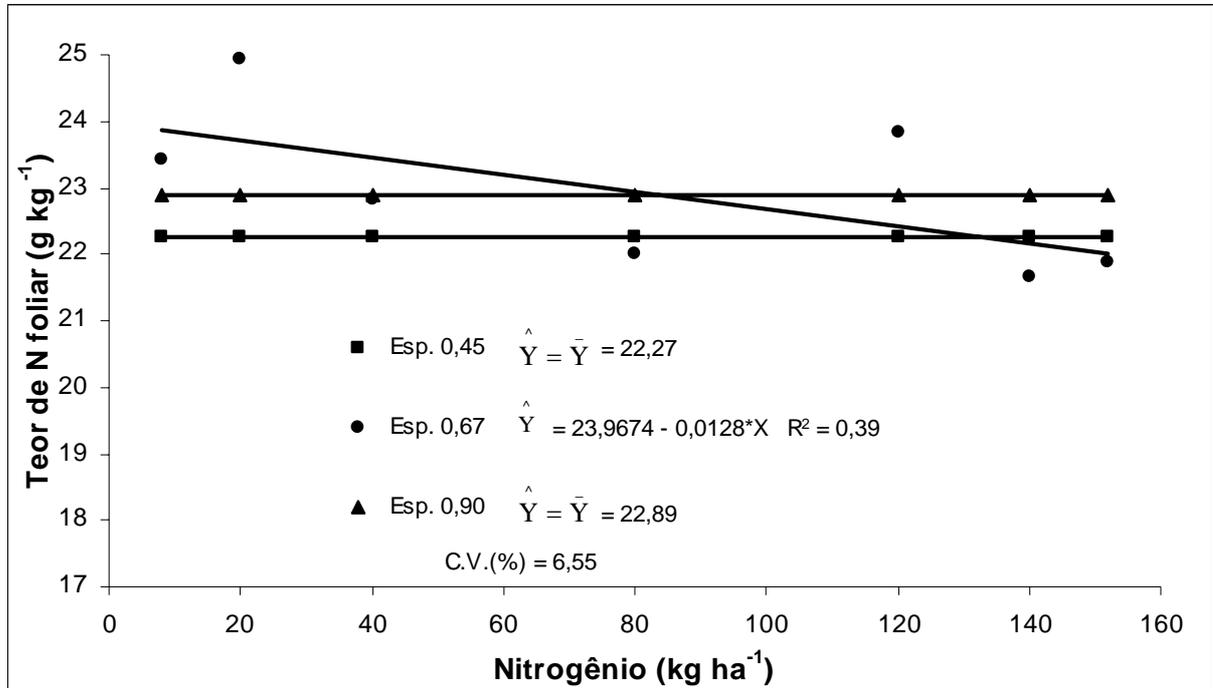


Figura 6 - Teor de N foliar em função da adubação nitrogenada em cobertura, e do espaçamento entre linhas para o híbrido Penta.

A adubação potássica em cobertura influenciou positivamente no teor de N foliar com a redução do espaçamento para 0,45 m (Figura 7), ou seja, com aumento das doses de K em cobertura, ocorreu aumento do teor de N no tecido foliar indicando que com a redução do espaçamento para 0,45 m, aumenta a exigência em adubo potássico para manter o teor de N foliar mais próximo do teor adequado para a cultura do milho que deve estar entre 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ de acordo com Malavolta et al. (1997).

Para os espaçamentos de 0,67 m e 0,90 m o teor de N foliar foi, em média, 22,71 e 22,62 g kg⁻¹, portanto abaixo da faixa considerada adequada.

O teor de K que foi determinado na análise do tecido foliar do híbrido Penta, foi semelhante a faixa considerada adequada para a cultura do milho que deve estar entre 17,5 – 22,5 g kg⁻¹, de acordo com Malavolta et al. (1997). Mas não houve

diferença significativa para o K foliar quanto aos fatores espaçamento e adubação em cobertura.

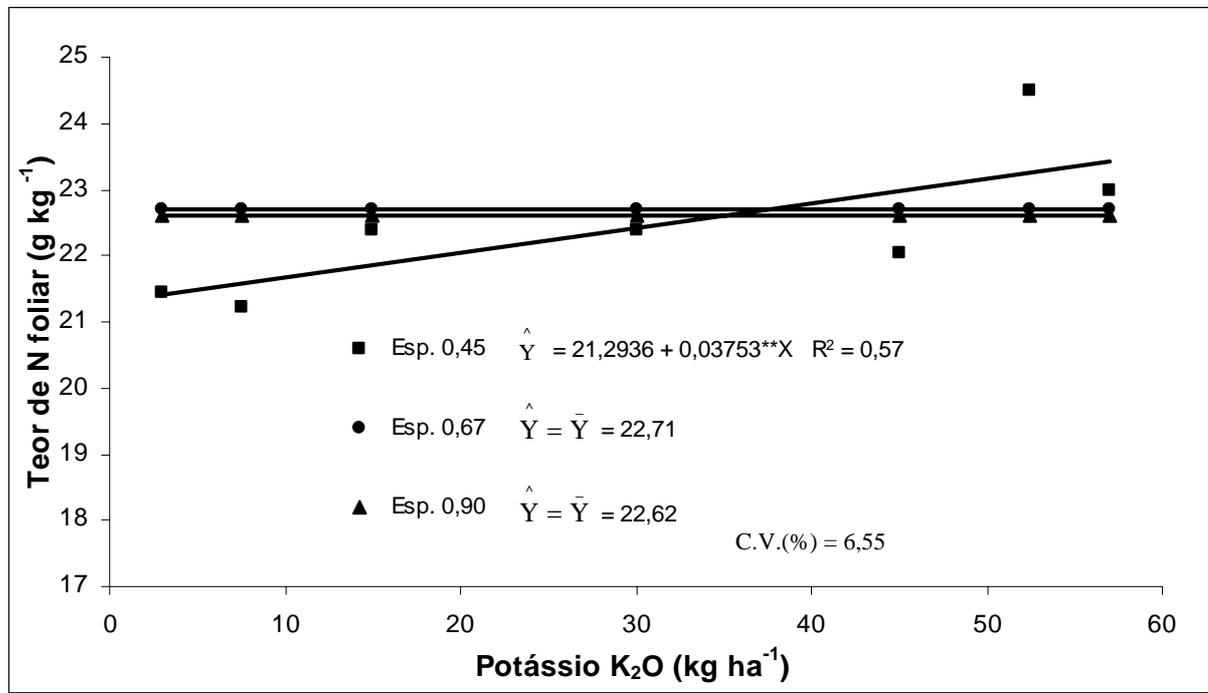


Figura 7 - Teor de N foliar em função da adubação potássica em cobertura e do espaçamento entre linhas para o híbrido Penta.

Para o P foliar houve diferença significativa quanto o fator espaçamento, sendo que o espaçamento 0,45 m foi superior aos demais, indicando que ocorreu um maior aproveitamento do fósforo nos espaçamentos menores, os quais proporcionaram maior absorção de fósforo, atribuindo isso, possivelmente, a uma distribuição mais equidistante das plantas e menor competição entre plantas na linha. Quanto à adubação em cobertura não houve influência dos tratamentos no teor de P no tecido foliar.

Houve diferença significativa quanto ao teor de P no grão. Com o espaçamento de 0,67 m o teor de P foi superior aos espaçamentos de 0,45 m e 0,90 m, mas não ocorreu efeito dos tratamentos de adubação em cobertura para o teor de P no grão. Comportamento semelhante foi observado para o teor de K no grão.

Quanto ao teor de N no grão e o teor de proteína, houve efeito significativo para espaçamento, sendo o espaçamento 0,90 m foi superior aos demais. Estes

resultados indicam que com a redução do espaçamento entre linhas aumenta a necessidade de adubação nitrogenada, entretanto, foram obtidas altas produtividades e não foram observados sintomas de deficiência destes nutrientes.

Os teores de macronutrientes (N, P e K) que foram determinados na análise de grãos estão abaixo dos teores considerados adequados para a cultura do milho, adaptados de Malavolta et al. (1980) e Hiroce et al. (1989), nitrogênio ($17,68 \text{ g kg}^{-1}$), fósforo ($3,87 \text{ g kg}^{-1}$) e potássio ($4,89 \text{ g kg}^{-1}$).

4.3 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE EFICIÊNCIA

Eficiência de uso do nutriente (EUN)

Quanto à eficiência de uso do nitrogênio, ou seja, quantidade de produto colhido por unidade de nutriente acumulado na parte aérea total, não houve resposta para espaçamento, conforme a tabela 8. Ocorreu diferença significativa para adubação em cobertura, onde teve a influência da adubação potássica na eficiência de uso do nitrogênio. Com o aumento das doses de K ocorreu redução da eficiência de uso de nitrogênio, conforme figura 8.

Para o potássio, houve diferença altamente significativa para os fatores espaçamento e adubação em cobertura, quanto à eficiência de uso de K. Os espaçamentos 0,67 e 0,90 m foram superiores ao espaçamento 0,45 m. Na adubação em cobertura observou uma diminuição na eficiência de uso do K à medida que se aumentaram as doses de potássio, conforme a figura 9. Resultados similares foram observados por Silva et al. (1996), num experimento com milho e espécies florestais em vasos, com alta dose de K (84 mg kg^{-1}). Provavelmente esta redução na eficiência do uso de K esteja relacionada com altos níveis de K no solo (Tabela 1) amostrados antes do plantio do milho, valores considerados altos para a cultura do milho com teores de $0,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas camadas de 0 -10 e 10 – 20 cm, respectivamente.

Tabela 8 - Resumo da Análise de Variância e médias da eficiência de uso do nutriente total (nitrogênio e potássio) e eficiência de uso do nutriente no grão (nitrogênio e potássio), em plantas de milho híbrido Penta, em função da variação de espaçamentos entre linhas

Espaçamento	EUNTO	EUKTO	EUNG	EUKG
m	-----kg kg ⁻¹ -----			
0,45	26,69	41,11 b	73,38 a	396,40 a
0,67	27,84	46,39 a	71,51 ab	346,43 b
0,90	28,29	48,04 a	67,79 b	399,11 a
Fesp	1,75 ^{ns}	5,89 ^{**}	6,41 ^{**}	7,97 ^{**}
Fadub	1,99 [*]	2,52 ^{**}	1,42 ^{ns}	1,16 ^{ns}
Fdose/N	1,07 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Fdose/K	2,26 [*]	3,00 ^{**}	1,72 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Fesp x adub	1,51 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,17 ^{ns}
CV (%)	8,50	11,76	10,59	24,94

*e** : significativo em nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Eficiência de uso do nutriente no grão (EUNg)

Houve resposta quanto à eficiência de uso de N e K no grão para espaçamento, mas não houve diferença significativa entre a interação espaçamento e adubação em cobertura para os índices de eficiência de uso de N e K no grão (Tabela 8). Quanto ao N, nos espaçamentos 0,45 e 0,67 m ocorreu maior eficiência no uso do nutriente no grão do que no espaçamento 0,90 m entre linhas, pois nos espaçamentos menores a melhor eficiência de absorção de N e K resultou em melhor eficiência de uso do nutriente no grão (Tabela 9). Quanto ao K, nos espaçamentos 0,45 e 0,90 m foi obtido maior eficiência no uso do nutriente no grão do que no espaçamento 0,67 m entrelinhas, conforme tabela 8.

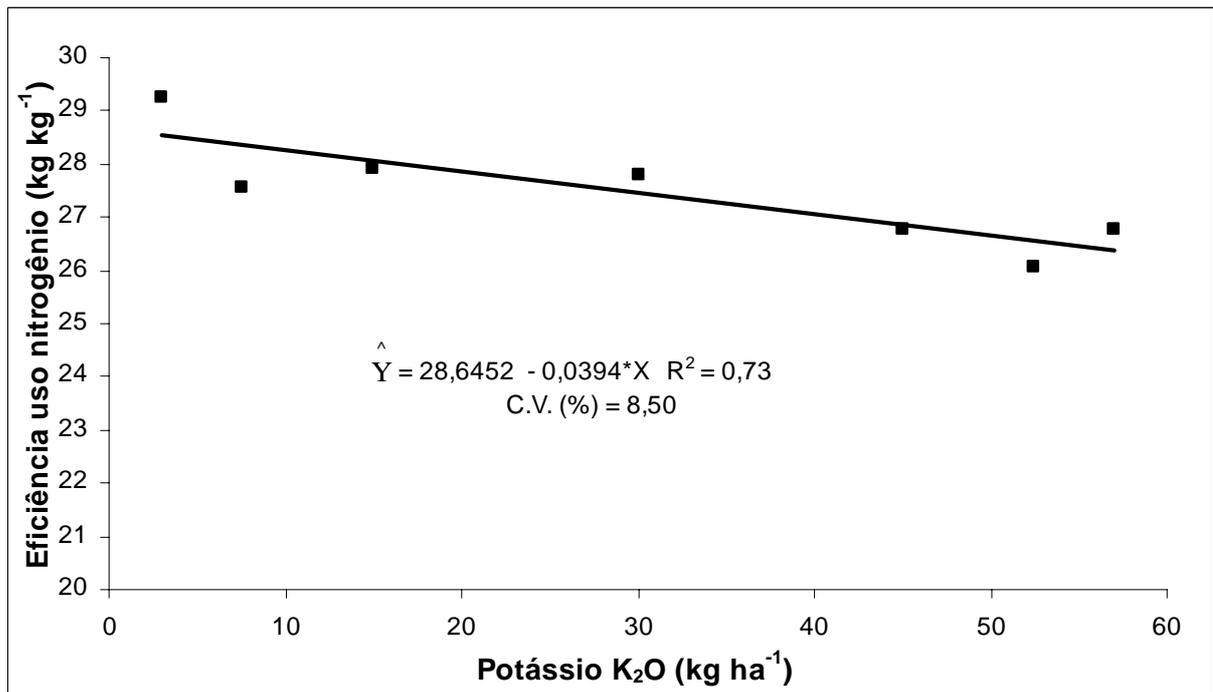


Figura 8 - Eficiência de uso de nitrogênio em função das doses de potássio, para o híbrido Penta.

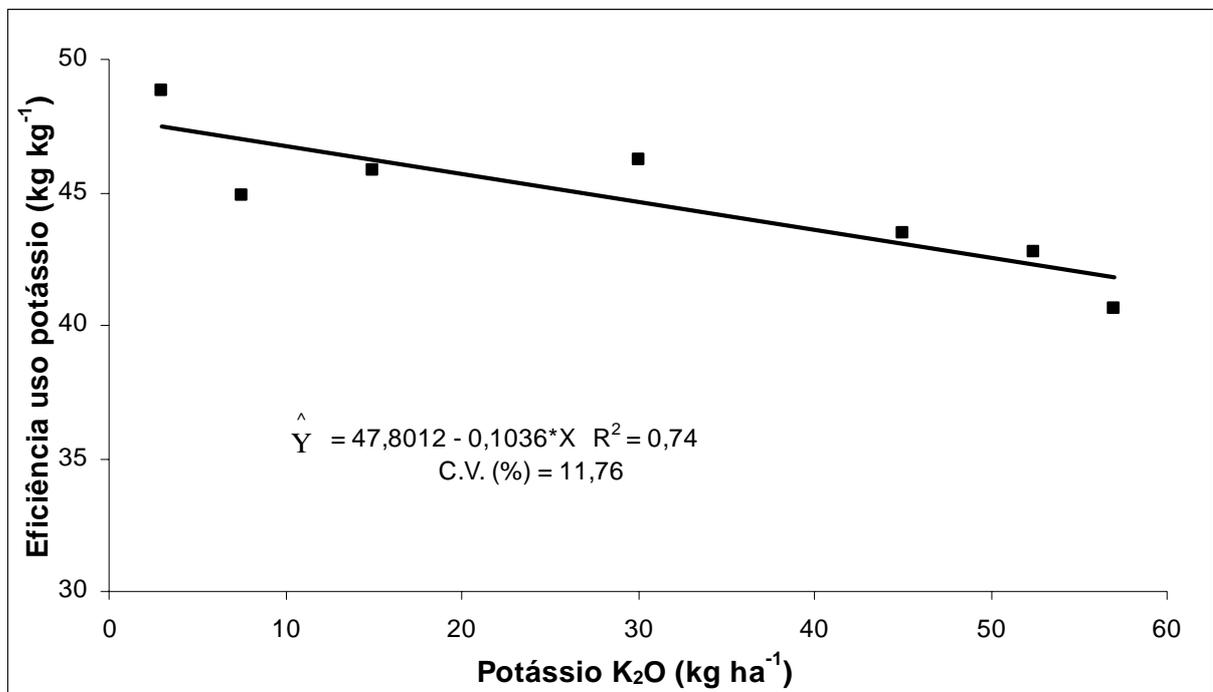


Figura 9 - Eficiência do uso de potássio em função das doses de potássio, para o híbrido Penta.

Eficiência de absorção (EA)

Quanto à eficiência de absorção, que é a razão entre o nutriente acumulado na parte aérea, inclusive grãos pela quantidade de nutriente aplicado, houve diferença significativa para os nutrientes N e K, para espaçamento e adubação em cobertura, conforme a tabela 9. Para ambos os nutrientes N e K, os espaçamentos 0,45 m e 0,67 m foram superiores ao espaçamento 0,90 m. A redução do espaçamento entre linhas resultou em maior eficiência na absorção de N e K, indicando que com a distribuição mais equidistante das plantas na linha, diminui a competição entre plantas por elementos de maior mobilidade no solo. Para adubação em cobertura, ambos os nutrientes N e K, apresentaram comportamento semelhante, ou seja, à medida que se aumentaram as doses de adubação em cobertura com N e K, diminuiu a eficiência de absorção de N e K, conforme figuras 10 e 11. Doses acima de 80 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O tiveram pouca influência na eficiência de absorção destes nutrientes, proporcionando uma eficiência de apenas 10 % em relação as menores doses de N e K.

Tabela 9 - Resumo da Análise de Variância e médias de Eficiência de absorção de nitrogênio (EA), Eficiência de Utilização da adubação nitrogenada (EUF), Eficiência de absorção de potássio (EA), Eficiência de Utilização da adubação potássica (EUF), em plantas do híbrido de milho Penta em função da variação de espaçamentos entre linhas

Espaçamento	Nitrogênio		Potássio	
	EA	EUF	EA	EUF
m	----- kg kg ⁻¹ -----			
0,45	12,30 a	331,89	21,64 a	885,34
0,67	11,51 ab	310,31	18,42 ab	875,01
0,90	10,65 b	303,61	16,69 b	828,44
Fesp	3,32*	2,02 ^{ns}	6,12**	2,37 ^{ns}
Fadub	447,50**	641,22**	226,17**	1354,57**
F esp x adub	1,27 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,52 ^{ns}
CV (%)	20,78	17,46	28,44	12,07

*e**: significativo em nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo em nível de 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

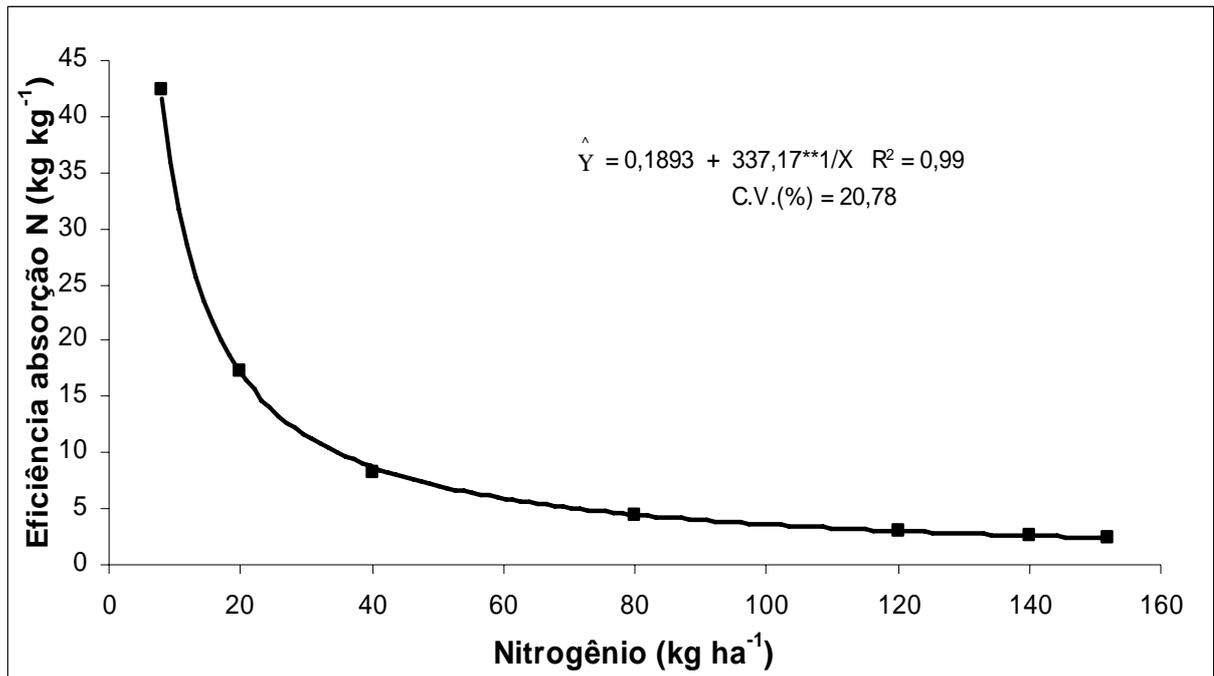


Figura 10 - Eficiência de absorção de nitrogênio em função das doses de nitrogênio, para o híbrido Penta.

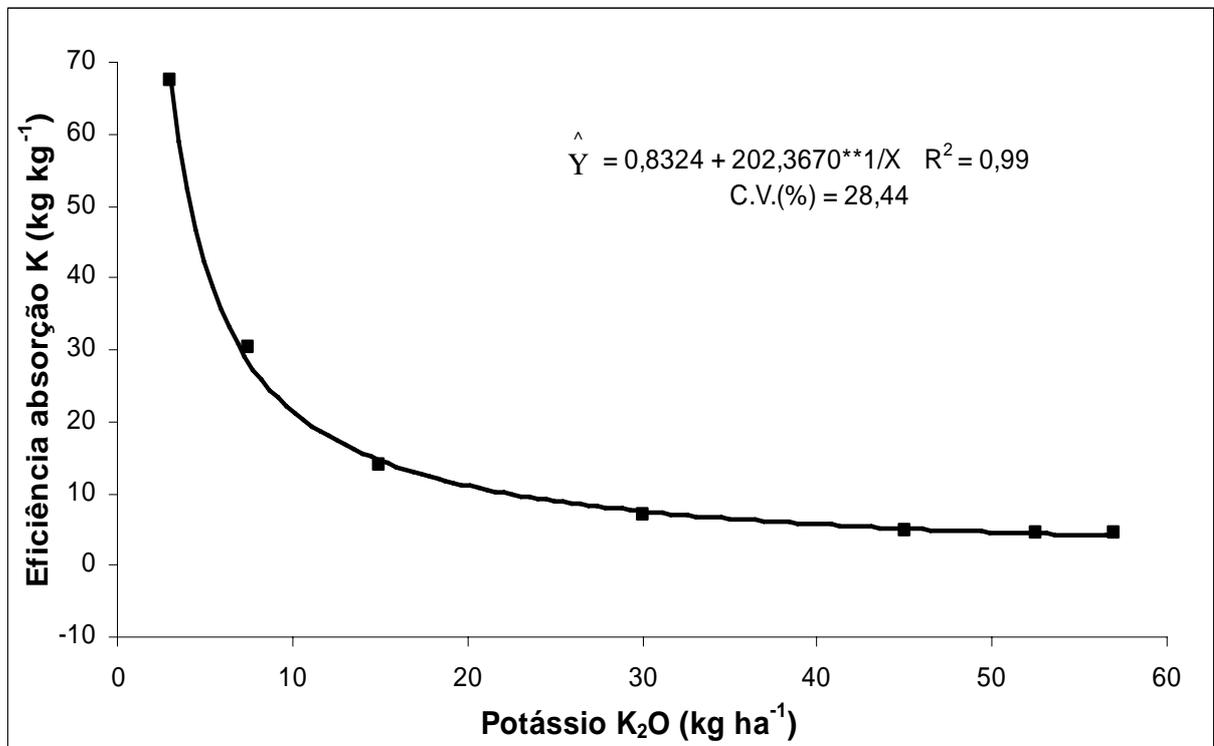


Figura 11 - Eficiência de absorção de potássio em função das doses de potássio, para o híbrido Penta.

Eficiência de uso do fertilizante (EUF)

Não houve resposta para a eficiência de uso do fertilizante, que é a razão entre a produção de grãos e a quantidade do nutriente aplicado, em função dos espaçamentos (Tabela 9). Para a adubação em cobertura, a resposta foi significativa para ambos fertilizantes (nitrogenado e potássico), que apresentaram comportamento semelhante, ou seja, à medida que se aumentaram as doses de adubação em cobertura de N e K, diminuiu a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenado e potássico (Figuras 12 e 13). Doses acima de 80 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O tiveram pouca influência na eficiência de uso do fertilizante, proporcionando uma eficiência de apenas 10 % em relação as menores doses de N e K.

Portanto, os nutrientes N e K são muito móveis no solo, quando aumenta as doses aplicadas de uma só vez, aumentam as perdas, que podem ser favorecidas pela volatilização e lixiviação. Desta forma a adubação de cobertura como complemento da adubação da semeadura é, sem dúvida, a melhor e a mais segura opção, pois assegura o sincronismo entre a liberação dos nutrientes do solo e a taxa de absorção pelas plantas. Como a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenado e potássico reduzem com aumento das doses indica a necessidade, nas condições apresentadas, de se fazer um parcelamento desta adubação em cobertura e uso de fertilizante de liberação mais lenta, uma vez que, se não houve absorção dos nutrientes, estes foram perdidos ou permaneceram no solo.

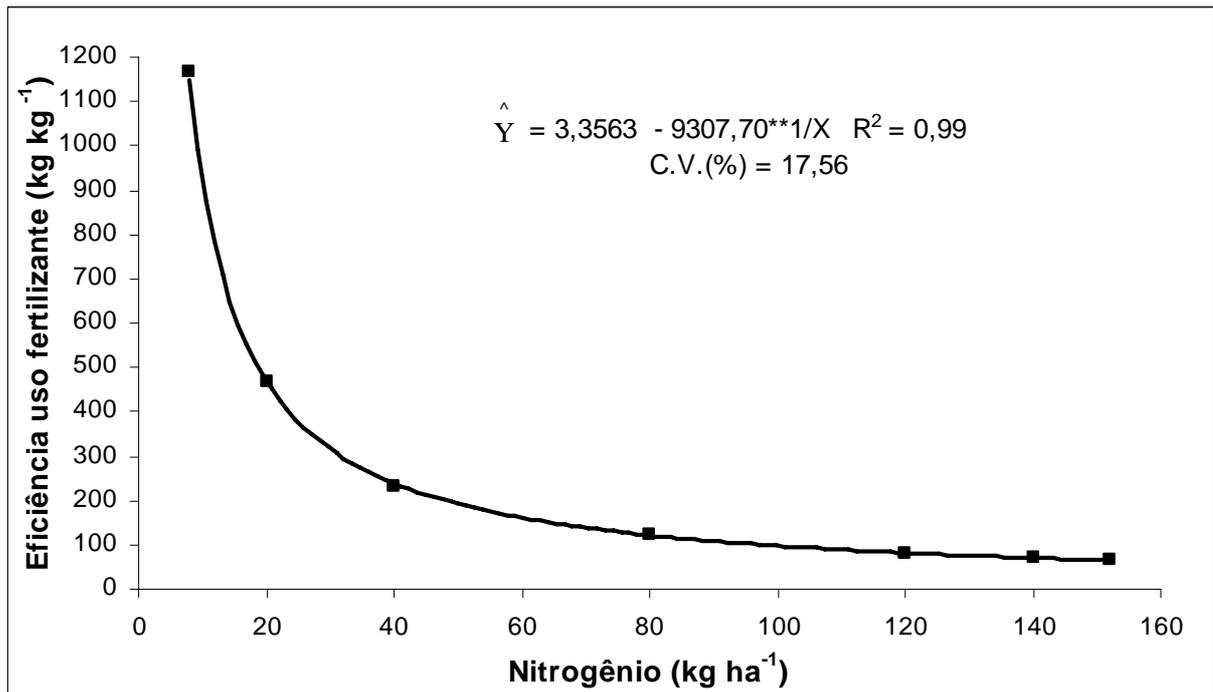


Figura 12. Eficiência de uso do fertilizante em função das doses de nitrogênio, para o híbrido Penta.

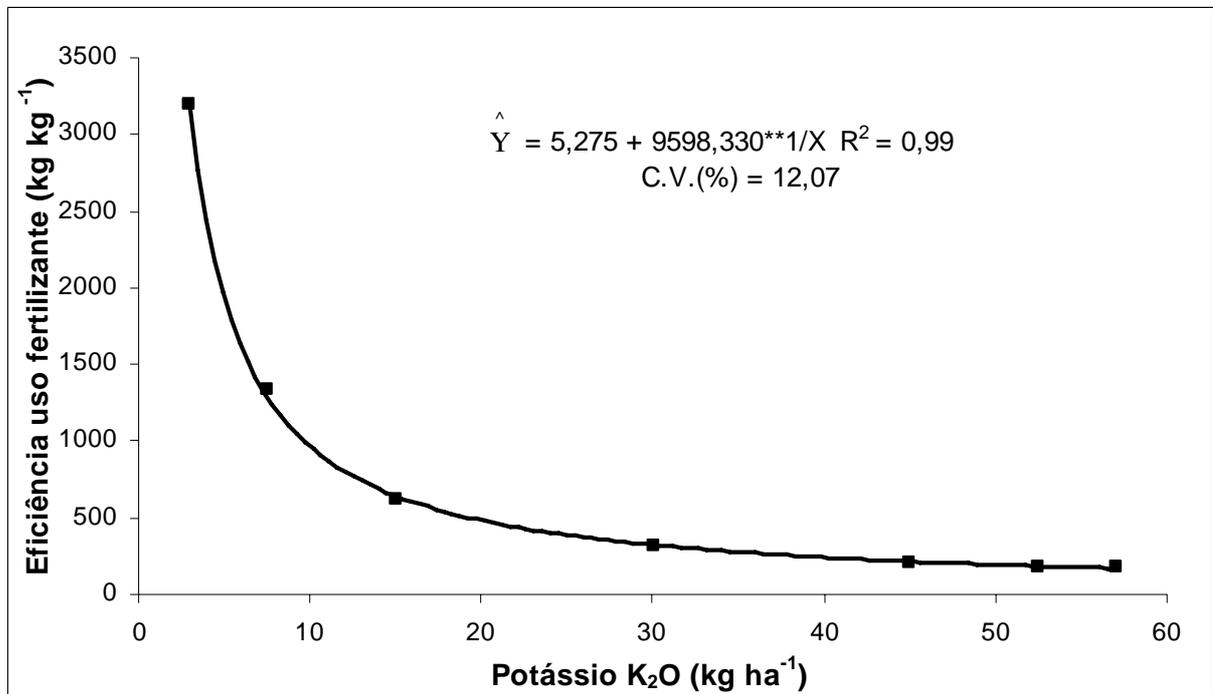


Figura 13 - Eficiência de uso do fertilizante em função das doses de potássio, para o híbrido Penta.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o trabalho podemos concluir que:

- Com a redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho, híbrido Penta, mantendo a mesma população por área ($55.000 \text{ plantas ha}^{-1}$), a biomassa seca total foi maior com espaçamento de 0,45 m entre linhas.
- As variações no espaçamento entre linhas de 0,45 m; 0,67 m e 0,90 m, mantendo-se a mesma população de plantas não resultaram em variações na produtividade de grãos para o milho, híbrido Penta.
- A redução no espaçamento (0,90 m para 0,45 m) proporcionou uma melhor distribuição espacial das plantas e aumentou a eficiência na absorção de N e K e também maior eficiência de uso de N e K no grão.
- Doses acima de 80 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O resultaram em menor eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados e potássicos e também em baixa eficiência de absorção de N e K, apontando para perdas destes nutrientes no solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGRIANUAL – Anuário da Agricultura Brasileira - 2006 , Instituto FNP, 504 p, 2006.

ARAUJO, L.A.N. de; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; BARBOSA, J.C.; BANZANATO, D.A., **Adubação nitrogenada e potássica em cultura de milho para alta produtividade** (compact disk). In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Anais. SBCS, Rio de Janeiro, 1997.

ARGENTA. G; SILVA. P.R.F, **Adubação em milho implantado em semeadura direta após a aveia preta**, Ciência Rural, Santa Maria, v.29, n.4, p. 745-754,1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI,L.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEGARAY NETO, V. **Resposta de híbrido simples de milho à redução do espaçamento entre linhas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.1,p.71-78, 2001a.

ARGENTA. G; SILVA,P,R, F; SANGOI, L. **Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte**. Ciência Rural, Santa Maria, v31, n.6, p. 1075-1084, 2001b.

ARGENTA, G.; SILVA,P.R.F.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI,C.G. **Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.

BARBOSA FILHO, M, P; SILVA, O.F. **Adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com fertilizante em plantio direto: um ótimo negócio**. Informações Agrônomicas. Potafos, Piracicaba, n. 93, p. 1- 5, 2001.

BERNARDES, M.S, **Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas**, In: CASTRO P.R.C; FERREIRA S. O; YAMADA, T, *Ecofisiologia da produção Agrícola*, POTAFOS, Piracicaba, p.13-48, 1987.

BORTOLINI,C,G.; SILVA,P,R,F.; ARGENTA,G.; FORSTHOFER,E,L. **Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia-preta em respostas a adubação nitrogenada e regime hídrico**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.9, p.1101-1106, 2001.

BORTOLINI, C.G. **Influência de espaçamento entre linhas e do estande de planta de milho sobre o rendimento de grãos**, Anais XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis, SC, 2002.

BORTOLINI, C.G., PASQUALI, R.M., **Incremento da produtividade do milho com redução do espaçamento entre linhas e manejo do estande de plantas**. Anais XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Cuiabá, MT, 2004.

BRAGA, J.M; DEFELIPO, B.V; **Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal**, *Revista Ceres*, Viçosa; V.21, p 73-85, 1974.

BÜLL, L, T. **Nutrição mineral do milho**. In: BULL, L, T; CANTARELLA, H.; (eds). *Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, p.63 – 145, 1993.

CASAGRANDE, J.R.R; FORNASIERI FILHO,D; **Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha**, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, V.37,n.1, p.33-40, 2002.

COELHO, A, M.; FRANÇA,G,E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. *Arquivo do Agrônomo*. Potafos, Piracicaba, 2 ed, p. 1- 9,1995.

DERPSCH, R. **Alguns resultados sobre adubação verde no Paraná**. In: Fundação Cargill, *Adubação verde no Brasil*, Campinas, p. 268 – 279, 1984.

DIBB, D.W.; THOMPSON Jr., R. **Interaction of potassium with others nutrients**. In: MUNSON, R.D. (ed). *Potassium in Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, p, 515 – 533, 1985.

DOURADO NETO, D; PALHARES, M; VIEIRA, P.A.; MANFRON, 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, v.2, n.3, p.63-77, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FANCELLI, A. L., Cursos de atualização à distância – **Tecnologia da Produção de Milho**, Módulos 1 e 3, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, 2002. 96 p.

FERREIRA, A,C, B; ARAÚJO, G, A, A; FERREIRA,P,R, G; CARDOSO, A. A. **Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco.** Scientia Agrícola, v.58, n.1, p. 131-138, 2001.

GROSS, M. R; PINHO, R.G.V; BRITO, A. H. de, **Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto**, Lavras, Ciência e Agrotecnologia, V.30, n.3, p.387-393, 2006.

HIROCE, R; FURLANI, A. M.C; LIMA, M, **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**, Campinas, Instituto Agrônomo, Boletim Científico 17, 24 p, 1989.

LARCHER, W., Ecofisiologia Vegetal, Rima, São Carlos, p. 203-210, 2000.

LEITE, R.A. **Uso de matrizes experimentais e de modelos estatísticos no estudo do equilíbrio fósforo-enxofre na cultura de soja em amostras de dois Latossolos de Minas Gerais**, Viçosa, MG, 1984, p.87, (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Viçosa.

MAGALHÃES, P. C; DURÃES F.O.M; CARNEIRO, N.P; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**, Circular Técnica n. 22, Centro Nacional de Pesquisa de milho e Sorgo, Embrapa, Sete Lagoas, MG, 2002. 23 p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas, Editora Agronômica Ceres, 251 p, 1980.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação de estado nutricional das plantas princípios e aplicações** (2^a ed), Potafos, Piracicaba, 319p, 1997.

MARCHÃO, R.L., BRASIL, E.M., PRADO, C.L.O., CUNHA, E.Q., **Efeito da densidade de plantas sobre caracteres agronômicos de híbridos de milho, cultivados em espaçamento reduzido.** Anais XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Cuiabá, MT, 2004.

MARSCHNER, H., Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, 2º edition, San Diego, p. 299 – 312, 1995.

MELLIS, E. V; ZAMBROSI, F.C.B; MONTEIRO, F. A; BERTOLOTTI, L; FELIX, F.F. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para a produção do capim Tanzânia,** FERTIBIO, Lages, SC, 2004.

MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura do milho.** Castro: Fundação ABC para Assistência Técnica Agropecuária, p. 1 – 2, 2000.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W. A., **Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization.** Agron. J., 74: p. 56 – 565, 1982.

MONTEIRO, F.A.; LIMA, S.A.A.; WERNER, J.C.; MATTOS, H.B., **Adubação potássica em leguminosas e em capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas,** Boletim de Industria Animal, v. 34, n. 1, p. 127 – 148, 1980.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHE, C. **Nitrogênio força para o milho,** Caderno Técnico – Revista Cultivar, n.43, Pelotas, 2002. 10 p.

OLIVEIRA, E. L.; COSTA, A. ; PAIVA, M. S. ; CHAVES, J. C. D. ; PAVAN, M. A. **Recomendação de adubação e calagem para as principais culturas do Estado do Paraná.** IN: MANUAL TÉCNICO DO SUBPROGRAMA E MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, Curitiba, SEAB/IAPAR, p. 85-104, 1989.

PEIXOTO, C.M; HENTSCHE, C; AGUIRRE, A. **Manejo de nitrogênio,** Caderno Técnico, Revista Cultivar, n.54, Pelotas, 2003. 10 p.

POTAFOS, Manual Internacional de Fertilidade do Solo, 2 ed, Piracicaba, SP, p. 68-69, 1998.

RESENDE, S.G; PINHO, R.G.V; ANDRE, H.B. **Alternativas para o arranjo de plantas na cultura do milho,** XXIV Congresso de Milho e Sorgo, Florianópolis, 2002.

RESENDE, S.G; VON PINHO, R.G; VASCONCELOS, R.C., **Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho**, Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.2,n.3, p.34-42, 2003.

RIZZARDI, M, A.; BOLLER,W.; DALL’OGLIO, R. **Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção**, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n. 8, p 231-236, 1994.

ROSOLEM,C.A; MACHADO, J.R; MARCELO, C.S., **Quantidade de macronutrientes absorvida pelo sorgo-granífero em função de espaçamentos e populações**, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.21, n.2, p. 207-211,1997.

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema de plantio direto**, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, 24 p, 1996.

SAEG, SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS, Versão 8.0, Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

SANTOS, M.; GALVÃO, J.C.C.; MELO, A. V.; MIRANDA, A.V.; FONTANETTI, A.; CABRAL, R.; SOUZA, L.V., **Adubação nitrogenada e redução do espaçamento entre fileiras em cultivares de milho**. Anais XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Cuiabá, MT, 2004.

SECRETARIA ESTADUAL DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO – SEAB, disponível em: <http://www.pr.gov.br/seab>. Acesso em 24 jul de 2006.

SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. **Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants**. J. Plant Nutr., 4(3): p. 289 – 302, 1981.

SILVA, I.R.da; FURTINI NETO, A. E; VALE, F. R. do; CURI, N; **Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas**, Revista Brasileira de Ciência de Solos, Campinas, V. 20, p. 257-264, 1996.

SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L.; CARDOSO, E.J.; FORSTHOFER, E.L.; SUHRE, E., **Resposta de dois híbridos de milho ao arranjo de plantas**. Anais XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis, SC, 2002.

TEDESCO, M.J.; WOLWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais** (Boletim Técnico 5), Porto Alegre, UFRGS, 1995, 186 p.

VAZQUEZ, G.H.; SILVA, M.R.R., **Influência de espaçamento entre linhas de semeadura em híbrido simples de milho**, XXIV Congresso de Milho e Sorgo, Florianópolis, 2002.

YAMADA, T., **O Nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho**, Informações Agronômicas, Potafos, Piracicaba, SP, n.78, p.1-4, 1997.

YAMADA, T. **Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho**. Informações agronômicas, Potafos, Piracicaba, SP, n.91, p.1-5, 2000.

YAMADA, T. **Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes**, Informações Agronômicas, Potafos, Piracicaba, SP, n. 100, p.1-5, 2002.

7 APÊNDICE

Tabela 1A - Altura de plantas, altura de inserção de espiga, plantas acamadas, fileiras, massa de 100 grãos, massa de grão por espiga, biomassa seca total e produtividade, em plantas de milho híbrido Penta, em função da variação de arranjos de adubação

Arranjo de adubação	Altura		Plantas acamadas	Fileiras	Massa 100 grãos	Massa grão/espiga	Biomassa seca total	Produtividade
	Altura planta	inserção espigas						
	-----m-----				-----g-----		-----kg ha ⁻¹ -----	
1 (40;15)	2,43	1,19	1,25	15,75	36,30	184,15	16465,38	8969,14
2 (40;45)	2,44	1,20	0,58	16,08	35,40	183,66	17297,21	9374,96
3 (120;15)	2,44	1,20	1,33	16,08	37,00	191,76	18099,59	9814,88
4 (120;45)	2,44	1,24	2,08	15,83	36,80	190,89	17696,02	9473,39
5 (20;30)	2,44	1,21	1,83	15,72	36,50	186,19	16912,74	9311,41
6 (140;30)	2,44	1,21	1,75	16,08	36,30	191,56	18356,97	9822,44
7 (80;7,5)	2,43	1,20	2,50	16,12	36,70	195,75	18703,56	9922,21
8 (80;52,5)	2,44	1,21	2,50	15,88	36,70	188,80	18216,44	9715,84
9 (8;15)	2,42	1,19	2,33	15,87	35,70	185,11	17090,87	9347,04
10 (40;3)	2,44	1,21	1,67	16,07	36,40	189,92	17136,47	9572,53
11 (152;45)	2,46	1,22	0,75	15,95	37,30	200,64	19652,02	10128,53
12 (120;57)	2,46	1,23	1,75	16,10	36,60	190,84	19017,58	9830,93
13 (80;30)	2,45	1,21	1,92	16,02	36,90	188,69	17678,88	9669,68

Tabela 2A Concentração de fósforo e potássio nas profundidades de 10 e 20 cm, Teores de fósforo, potássio e nitrogênio no tecido e no grão, Teor de proteína, em plantas de milho híbrido Penta, em função da variação de arranjos de adubação

Arranjo de adubação	P10 mg dm ⁻³	P20 mg dm ⁻³	K10 Cmol _c dm ⁻³	K20 Cmol _c dm ⁻³	Pgrão -----g kg ⁻¹ -----	Kgrão -----g kg ⁻¹ -----	Ngrão -----g kg ⁻¹ -----	Proteína %	Nfoliar -----g kg ⁻¹ -----	Pfoliar -----g kg ⁻¹ -----	Kfoliar -----g kg ⁻¹ -----
1 (40;15)	7,47	4,60	0,45	0,39	1,78	2,59	13,85	8,69	21,81	2,56	20,04
2 (40;45)	8,95	4,70	0,49	0,44	1,95	2,93	14,30	8,94	22,39	2,51	20,00
3 (120;15)	7,06	5,00	0,43	0,38	1,43	2,39	14,22	8,88	23,26	2,48	20,34
4 (120;45)	6,90	4,30	0,45	0,38	2,09	2,78	14,73	9,19	23,48	2,52	19,45
5 (20;30)	7,27	6,00	0,48	0,43	1,93	2,79	14,87	9,31	23,85	2,56	19,81
6 (140;30)	5,70	5,30	0,46	0,40	1,99	2,80	13,86	8,69	22,32	2,68	19,96
7 (80;7,5)	7,09	4,20	0,45	0,37	1,92	2,82	14,73	9,19	21,73	2,53	19,87
8 (80;52,5)	6,95	5,60	0,49	0,44	2,36	3,19	15,32	9,56	23,41	2,68	20,63
9 (8;15)	7,32	6,40	0,48	0,41	1,98	2,90	14,29	8,94	22,90	2,53	20,13
10 (40;3)	6,57	5,20	0,43	0,40	1,73	2,65	13,34	8,31	22,83	2,69	19,71
11 (152;45)	7,45	4,70	0,46	0,39	2,18	2,99	14,08	8,81	22,10	2,61	20,37
12 (120;57)	6,72	5,50	0,51	0,44	1,90	2,69	14,66	9,19	21,88	2,54	21,20
13 (80;30)	7,81	4,80	0,49	0,42	1,99	2,82	13,64	8,50	22,46	2,75	19,77

ASSINATURAS

Aluno: Gelavir Antonio Deparis

Professora Orientadora: Dr^a Maria do Carmo Lana

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO

GELAVIR ANTONIO DEPARIS

**ESPAÇAMENTO, ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA EM
COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
SETEMBRO/2006