

**MARCA DE ABSORÇÃO DE
NUTRIENTES E ACÚMULO DE
MATÉRIA SECA EM
MILHO**

IRAN DIAS BORGES

2006

IRAN DIAS BORGES

**MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E
ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM MILHO.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para a obtenção do título de "Doutor".

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho
(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Borges, Iran Dias

Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria em cultivares de milho / Iran

Dias Borges. -- Lavras : UFLA, 2006.

115 p. : il.

Orientador: Renzo Garcia Von Pinho.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Milho. 2. Nutrientes. 3. Absorção. 4. Matéria seca. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.15891

IRAN DIAS BORGES

**MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E
ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM MILHO.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

UFLA.

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

UFLA.

Pesq. Dr. Antônio Marcos Coelho

EMBRAPA.

Prof. Dr. Ramon Correia de Vasconcelos

UESB / Ba.

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006**

DEDICO

Aos meus pais, Geraldo e Emerenciana, e aos meus irmãos.

OFEREÇO

As minhas filhas, Maria Cecília e Nara Tayná

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela conclusão do curso e por sempre fazer brilhar uma luz nos caminhos que percorri e percorro.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da pós-graduação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A Universidade Estadual de Montes Claros, pela liberação e incentivo à capacitação.

Aos professores Wilson Athair e Mário Melo, e, em especial, a professora Regina Caleiro, pelo imprescindível apoio.

À empresa Fertilizantes Heringer S.A., pelo fornecimento de adubos e pelo custeio das análises foliares, o que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Ciências do Solo da UFLA, pela cooperação e boa vontade no apoio técnico na realização das análises laboratoriais.

À Elaine pelo apoio, compreensão, carinho e amor.

Aos professores da Unimontes, Virgílio, Virgilhão, Flavinho, Fábio, Victor e Vicente Júnior, pelo apoio e ajuda.

Ao professor Renzo Garcia Von Pinho, pela orientação, compreensão e amizade.

Aos colegas do grupo do milho, Zé Luiz, Mococa, Marcinho, Goiano, Alberto, Marcelo, André, Ivan, Torrinha, Tomaz e Edmir.

Aos colegas da pós-graduação: Ramon, Roger, Sidney e Cláudio, pela ajuda, companheirismo e incentivo.

Aos funcionários do Galpão de Grandes Culturas do DAG/UFLA, Manguinha, Julinho, Alessandro, Aginaldo e João, pela presteza e disponibilidade em ajudar.

BIOGRAFIA

IRAN DIAS BORGES, filho de Geraldo Borges e de Emerenciana Dias Borges, nasceu em Montes Claros, MG, em 16 de dezembro de 1964.

Graduou-se em agronomia pela Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), hoje Universidade Federal de Lavras, em agosto de 1987.

De março de 1988 a abril de 1990 trabalhou na Reflorestadora do Alto Jequitinhonha – Refloralje e na Correntes Agropecuária, empresas do grupo Asamar, com implantação e manutenção de projetos florestais, e com produção de sementes de grãos e de cana-de-açúcar, respectivamente.

No período de 1995 a 1998, foi consultor do Sebrae–MG, na área de cooperativismo e associativismo.

De 1998 até a presente data é instrutor do Senar–MG, nas áreas de administração rural, irrigação e associativismo.

Em 1999, concluiu o curso de especialização em irrigação e drenagem pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Em agosto de 2000 ingressou, por meio de concurso público, na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), para lecionar nos cursos de agronomia e zootecnia.

Em abril de 2002 iniciou o mestrado em agronomia/fitotecnia, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), defendendo a dissertação em agosto de 2003.

Em agosto de 2003 iniciou o doutorado em agronomia/fitotecnia na Universidade Federal de Lavras (UFLA), defendendo tese em dezembro de 2006.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Fenologia da planta de milho.....	3
2.2 Acúmulo de matéria seca pelo milho.....	5
2.3 Exigência nutricionais do milho.....	9
2.4 Absorção, acúmulo e exportação de nutrientes pelo milho.....	12
2.4.1 Nitrogênio.....	16
2.4.2 Fósforo.....	19
2.4.3 Potássio.....	21
2.4.4 Cálcio.....	23
2.4.5 Magnésio.....	23
2.4.6 Enxofre.....	24
2.4.7 Boro.....	25
2.4.8 Cobre.....	26
2.4.9 Ferro.....	27
2.4.10 Molibdênio.....	27
2.4.11 Zinco.....	28
2.4.12 Manganês.....	29
2.4.13 Cloro.....	29
2.5 Mobilidade dos nutrientes.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Material genético.....	32
3.2 Caracterização da área experimental.....	32
3.3 Análises dos dados.....	38

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes.....	39
4.2 Acúmulo de micronutrientes.....	62
4.3 Acúmulo diferencial de matéria seca e de nutrientes nas diferentes partes da planta.....	71
4.3.1 Acúmulo de matéria seca nas diferentes partes da planta.....	72
4.3.2 Acúmulo de nutrientes nas folhas.....	76
4.3.3 Acúmulo de nutrientes nos colmos.....	82
4.3.4 Acúmulo de nutrientes nas folhas nas palhas das espigas	88
4.3.5 Acúmulo de nutrientes nas folhas nos sabugos das espigas.....	89
4.3.6 Acúmulo de nutrientes nos grãos.....	91
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	96
6 CONCLUSÕES	99
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
8 ANEXOS	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios fenológicos de uma planta de milho segundo Richie e Hanway, adaptado por Fancelli (1986).....	004
Tabela 2. Estádios fenológicos de uma planta de milho segundo Fancelli (1986), adaptado de Nell & Smit (1978).	005
Tabela 3. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade.	012
Tabela 4. Percentuais de nutrientes translocados de outras partes vegetativas da planta para os grãos em cultivares de milho, na maturidade fisiológica.	015
Tabela 5. Características dos híbridos de milho utilizados nos experimentos.	032
Tabela 6. Resultados da análise de amostras de solo (0 – 20 cm) da área onde foi conduzido o experimento, antes da aplicação dos tratamentos. UFLA, Lavras, 2006.....	034
Tabela 7. Resumos das análises de variância para os acúmulos de matéria seca (MS), nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em kg ha^{-1} , na parte aérea considerando dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras - MG, 2006.	040
Tabela 8. Rendimentos de grãos e de matéria seca, em t ha^{-1} , e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de cultivares de milho, em kg ha^{-1} , valores médios adaptados de outros trabalhos conduzidos no Brasil.....	042
Tabela 9. Valores médios do acúmulo de matéria seca, em kg ha^{-1} , de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.	043
Tabela 10. Quantidade de nutrientes, expressos na forma elementar, em quilos, necessária para produção de uma tonelada de grãos e uma tonelada de matéria seca, considerando dois híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	044

Tabela 11 – Valores médios da acumulação de nitrogênio, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.....	047
Tabela 12. Valores médios de acumulação de fósforo, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.	050
Tabela 13. Valores médios de acumulação de potássio, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.	053
Tabela 14. Valores médios de acumulação de cálcio, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.	056
Tabela 15. Valores médios de acumulação de magnésio, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.	058
Tabela 16. Valores médios de acumulação de enxofre, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.	061
Tabela 17. Resumos das análises de variância para os acúmulos de manganês, zinco, boro e cobre, em kg ha ⁻¹ , na parte aérea de dois híbridos de milho em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras/MG, 2006.	063
Tabela 18. Valores médios de acumulação de boro e zinco, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.....	064
Tabela 19. Valores médios de acumulação de manganês e cobre, em kg ha ⁻¹ , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos cultura (dias a após emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006..	065

Tabela 20. Valores totais da matéria seca acumulada, em kg ha ⁻¹ , nas diferentes partes da planta de milho, considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33) em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência - DAE). UFLA, Lavras, 2006.	074
Tabela 21. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nas folhas de plantas de milho, em kg ha ⁻¹ , considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, 2006.....	079
Tabela 22. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nos colmos de plantas de milho, em kg ha ⁻¹ , considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, 2006.....	083
Tabela 23. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nas palhas de plantas de milho, em kg ha ⁻¹ , considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, 2006.....	089
Tabela 24. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nos sabugos de plantas de milho, em kg ha ⁻¹ , considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, 2006.....	090
Tabela 25. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nos grãos das espigas das plantas de milho, em kg ha ⁻¹ , por dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, 2006.....	091
Tabela 26. Valores totais de nutrientes acumulados nos grãos, em kg ha ⁻¹ , por cultivares de milho, adaptados de outros trabalhos.....	092
Tabela 27. Valores totais de nutrientes exportados para os grãos de milho, em kg ha ⁻¹ , por tonelada de grãos produzidos, valores adaptados de outros trabalhos.....	094

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados médios de temperatura, em graus Celsius, e precipitação pluviométrica acumulada por decêndio, em milímetros, em Lavras – MG, de 21/11/2004 a 28/06/2005. Dados obtidos no setor de Bioclimatologia da UFLA, Lavras – MG, 2006..... 035
- Figura 2.** Acumulação total de matéria seca, em kg ha⁻¹, de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006. 041
- Figura 3.** Acumulação total de nitrogênio, em kg ha⁻¹, de dois híbridos de milho em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006. 045
- Figura 4.** Acumulação total de fósforo, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33) em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.. 048
- Figura 5.** Acúmulo total de potássio, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33) em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência - DAE). UFLA, Lavras /MG, 2006..... 051
- Figura 6.** Acumulação total de cálcio, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006..... 054
- Figura 7.** Acumulação total de magnésio, em kg ha⁻¹, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006..... 057
- Figura 8.** Acumulação total de enxofre, em kg ha⁻¹, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras – MG, 2006..... 060
- Figura 9.** Acumulação total de boro, em kg ha⁻¹, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006. 066
- Figura 10.** Acumulação total de zinco, em kg ha⁻¹, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006. 068

Figura 11. Acumulação total de manganês, em kg ha^{-1} , considerando a média de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.....	070
Figura 12. Acumulação total de cobre, em kg ha^{-1} , considerando a média de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência-D. A.E.). UFLA, Lavras/MG, 2006.....	071
Figura 13. Acúmulos da matéria seca nas diferentes partes vegetativas da planta de milho, em kg ha^{-1} , considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.....	073

RESUMO

BORGES, Iran Dias. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho.** 2006. 115p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Para um melhor entendimento dos fatores relacionados à nutrição mineral e à adubação do milho, é necessário conhecer os padrões dos acúmulos de matéria seca (MS) e de nutrientes, em função dos estádios fenológicos da planta. Este trabalho teve como objetivo acompanhar a marcha de absorção de nutrientes e o acúmulo de MS na parte aérea de plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura, utilizando-se um híbrido com alto potencial de produção de grãos e outro com alto potencial de produção de MS. O experimento foi instalado em área do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, MG. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com os híbridos P30F33 e GNZ2004 dispostos nas parcelas e os estádios fenológicos da cultura nas subparcelas. As adubações foram realizadas considerando-se produções de grãos superiores a 12 t ha⁻¹ e de MS superiores a 24 t ha⁻¹. As plantas foram coletadas e separadas em folhas, caule, palha, sabugo e grãos, que foram secos em estufa para a determinação dos teores de nutrientes na MS. As características avaliadas foram a produtividade de grãos e de MS, prolificidade e os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Cu e B na MS. As cultivares de milho acumulam MS, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco e cobre até próximo à maturidade fisiológica, quando são obtidos os acúmulos máximos. A cultivar GNZ2004 acumula maiores quantidades de MS, N, P, Mg e S nas partes aéreas das plantas do que a cultivar P30F33. Plantas de milho acumulam quantidades mínimas de boro, cobre, manganês e zinco nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, sendo os valores máximos obtidos a partir de 100 dias após a emergência. Plantas de milho acumulam nutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem decrescente de acúmulo: N>K>P>C>Mg>S>Zn>Mn>Cu>B. As curvas de absorção de nutrientes obtidas com as cultivares GNZ2004 e P30F33 seguem padrões semelhantes aos observados em outros trabalhos. As folhas das plantas de milho acumulam MS, N, P, K, Mg e S até um ponto de máximo situado entre o final do florescimento e o terço inicial do período de enchimento de grãos, ocorrendo, posteriormente, um período de perdas desses nutrientes pelas folhas, até a maturidade

¹ Comitê Orientador: Professor Doutor Renzo Garcia Von Pinho – UFLA (Orientador), Professor Doutor Carlos Alberto Silva - UFLA e Professora Janice Guedes – UFLA (Co-Orientadores).

fisiológica. O nutriente acumulado em maior quantidade nos grãos e sabugos é o N, seguido pelo K. Nas folhas, colmos e palhas, o comportamento é o inverso, sendo o K o nutriente mais absorvido. As quantidades totais de nutrientes, em quilos, necessárias para produzir uma tonelada de grãos de milho são: 22,3 a 27,7 kg de N; 5,3 a 5,8 kg de P; 21,3 a 23,2 kg de K; 3,6 a 3,9 kg de Ca; 2,4 a 3,5 kg de Mg; 1,3 a 1,9 kg de S; 0,0009 kg de B; 0,019 a 0,020 kg de Cu; 0,042 a 0,046 kg de Mn; 0,100 a 0,194 kg de Zn.

ABSTRACT

BORGES, Iran Dias. **Nutrients absorption and dry matter accumulation in corn plants.** 2006. 115p. Thesis (Doctorate in Crop Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG¹.

For a better understanding regarding to mineral nutrition and corn fertilization it is necessary to know plants matter accumulation (DM) and nutrient in function of the plant age, which was the objective of this work, using high grain yield hybrids and high potential of DM production hybrids. The experiment was established at the Agronomy Department, Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil, in a split-plot randomized block experimental design, with P30F33 and GNZ2004 corn hybrids disposed in the plots and plants life cycle stages in the sub-plots. The experiment was fertilized based on a 12 t ha⁻¹ or high grain yield crop and 24 t ha⁻¹ or high DM production. Corn plants were harvested separated into leaves, stems, straws, corncob and grains, for nutrient content determinations. The following parameters were measured: grain yield, plant dry matter, crop prolificacy, and N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Cu, and B in DM corn cultivars accumulate maximum of DM, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, zinc, and copper close to the physiological maturity. The cultivar GNZ2004 accumulates larger amounts of DM, N, P, Mg, and S in the above ground parts of the plants than P30F33. Corn plants accumulate minimum amounts of boron, copper, manganese, and zinc in the initial stages of development, and the maximum values are from 100 days after emergency. Corn plants accumulate nutrients in its above ground parts as following: N > K > P > Ca > Mg > S > Zn > Mn > Cu > B. The absorption nutrients curves for GNZ2004 and P30F33 corn cultivars follow patterns similar to those observed in other works. The leaves of the corn plants accumulate DM, N, P, K, Mg, and S until a maximum point located between the end of flowering and the initial third of grain formation stage. Afterwards, nutrients are lost by leaves until physiological maturity. Larger amounts of N and K are accumulated by grains and corncob than other nutrients while they are accumulated in low amounts by corn leaves, straws, and stems, being K the most absorbed. The total amounts of nutrients, necessary to produce a ton of corn grains are: 22.3 to 27.7 kg of N; 5.3 to 5.8 kg of P; 21.3 to 23.2 kg of K; 3.6 to 3.9 kg of Ca; 2.4 to 3.5 kg of Mg; 1.3 to 1.9 kg of S; 0.0009 kg of B; 0.019 to 0,020 kg of Cu; 0.042 to 0.046 kg of Mn; 0.100 to 0.194 kg of Zn.

Guidande Committee: Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho – UFLA (Adviser), Carlos Albert Silva e Janice Guedes de Carvalho.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil tem obtido crescentes aumentos de produção e de produtividade na cultura do milho. Isso é resultado, principalmente, da conjunção de fatores como a profissionalização no campo (aspectos técnicos e administrativos), o zoneamento edafoclimático e avanços tecnológicos oriundos da pesquisa agropecuária.

Entretanto, o panorama atual do agronegócio no Brasil sugere dificuldades para atender à crescente demanda interna de milho. Esse aspecto, aliado à competição com outras culturas pela ocupação da fronteira agrícola e à forte perspectiva de expansão de mercados externos para o milho e seus derivados, alerta para a necessidade de trabalhos que objetivem o aumento da eficiência na atividade e maior competitividade no mercado.

O plantio e a condução de uma lavoura de milho visam obter alta produtividade e lucro, com a venda do produto colhido. Além de condições de solo e clima favoráveis à sua implantação, a cultura requer do agricultor muitas e oportunas decisões, em geral baseadas em recomendações técnicas da pesquisa. Dentre estas se destacam as escolhas da cultivar e da melhor alternativa de manejo da adubação. Com o progresso das técnicas de obtenção de híbridos de milho, além do aumento da produtividade, verificaram-se, com o tempo, melhorias no sistema radicular, maior firmeza do colmo e maior sanidade das plantas. O incremento considerável na produção do milho em terras brasileiras deve-se, em muito, à introdução de híbridos de alta produtividade, aliada à adoção de adequadas práticas de manejo.

Atualmente, no mercado brasileiro, estão disponíveis diversas cultivares de milho, sendo as exigências, como, por exemplo, as nutricionais, variáveis. Conhecer qual o nutriente de que a planta necessita, a quantidade em que ele deve ser fornecido e o momento adequado para o seu fornecimento é condição

fundamental para o equilíbrio nutricional da planta, para a expressão máxima do seu potencial genético.

As necessidades nutricionais de uma planta são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as taxas que serão exportadas por meio da colheita dos grãos e as que poderão ser restituídas ao solo através dos restos culturais (Bull & Cantarella, 1993). A escassez de informações quanto a exigências nutricionais de híbridos de alto potencial produtivo para as condições tropicais brasileiras justifica a realização de estudos que contemplem esses genótipos, quanto às suas exigências nutricionais. Dos principais trabalhos de pesquisa conduzidos no Brasil sobre o assunto, a maioria foi realizada há mais de 20 anos e contempla cultivares muito diferentes das atualmente utilizadas pelos agricultores.

Estudar a marcha de absorção de nutrientes e o acúmulo de matéria seca em função dos estádios fenológicos da cultura do milho é de fundamental importância para subsidiar estratégias de definição das quantidades e das épocas de realização de adubações na cultura, e das quantidades mínimas que devem ser restituídas ao solo para fins de manutenção da fertilidade. Isto irá contribuir para o aumento da eficiência no manejo da cultura, proporcionando ganhos em produtividade e redução de custos na lavoura, pela utilização racional e eficiente dos insumos e do solo.

Este trabalho teve como objetivo acompanhar a marcha de absorção de nutrientes e o acúmulo de matéria seca na parte aérea de plantas de milho, em função dos estádios fenológicos na cultura, utilizando híbridos de alto potencial de produção de matéria seca e alto potencial de produção de grãos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fenologia da planta de milho

Entender o ciclo da planta de milho baseando-se apenas na sua idade, normalmente expressa em dias após o plantio (DAP) ou em dias após a emergência (DAE), pode levar a equívocos de interpretação. Isso ocorre pelo fato de as cultivares poderem ter variações quanto ao tempo para a ocorrência de eventos fisiológicos na planta, como emissão de folhas, florescimento e alterações na consistência dos grãos. O ciclo da cultura pode ser dividido em estádios distintos de desenvolvimento, baseados na ocorrência desses eventos fisiológicos, o que facilita o manejo e o estudo, pois possibilita estabelecer correlações entre elementos fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos, fitopatológicos e fitotécnicos e o desempenho da planta.

Ritchie et al. (2003) afirmam que o produtor precisa entender como ocorrem o crescimento e o desenvolvimento da planta de milho, e que aqueles que não conhecem esses aspectos bem podem usar práticas de produção mais eficientes para obter maiores produtividades e, conseqüentemente, maiores lucros.

Há dois sistemas mais comumente adotados para a divisão do ciclo da planta de milho em estádios fenológicos que são o proposto por Ritchie e Hanway (1986) e o proposto por Fancelli (1986) adaptado de Nell & Smit (1978) (Tabelas 1 e 2). Em ambos, a divisão entre os estádios é determinada pela ocorrência de eventos fisiológicos na planta, como o surgimento de folhas totalmente expandidas (limbo, bainha e aurícula evidentes), o aparecimento das estruturas reprodutivas e a consistência dos grãos. A maturidade fisiológica é considerada quando se observa o aparecimento da camada negra na interseção do grão com o sabugo. O uso de um desses sistemas de divisão dos estádios fenológicos, como referência na definição das épocas de realização de tratos

culturais, elimina erros de interpretação que as cultivares e as condições edafoclimáticas poderiam induzir na definição do tempo de duração de cada estágio.

Quanto ao padrão de desenvolvimento, todas as plantas de milho são semelhantes, mas os intervalos de tempo específicos entre os estágios fenológicos podem variar entre os diversos cultivares. Por exemplo, híbridos de milho podem florescer mais cedo ou mais tarde, como também desenvolver menos ou mais folhas (Ritchie et al., 2003).

TABELA 1. Estádios fenológicos de uma planta de milho, segundo Ritchie e Hanway (1986).

Estádios	Descrição dos estádios fenológicos
ESTÁDIOS VEGETATIVOS (V)	
V E	Emergência
V 1	Primeira folha totalmente expandida
V 2	Segunda folha totalmente expandida
V 3	Terceira folha totalmente expandida
V 6	Sexta folha totalmente expandida
V 9	Nona folha totalmente expandida
V 12	Décima segunda folha totalmente expandida
V 15	Décima quinta folha totalmente expandida
V 18 ou V (n)	Décima oitava ou enésima folha totalmente expandida
ESTÁDIOS REPRODUTIVOS (R)	
R 1	Florescimento
R 2	Grão leitoso
R 3	Grão pastoso
R 4	Grão farináceo
R 5	Grão farináceo-duro
R 6	Maturidade fisiológica (final do ciclo da cultura do milho)

TABELA 2. Estádios fenológicos de uma planta de milho, segundo Fancelli (1986), adaptado de Nell & Smit (1978).

Estádios	Descrição dos estádios fenológicos
0	Da semente à emergência da plântula
1	Planta com 4 folhas totalmente expandidas
2	Planta com 8 folhas totalmente expandidas
3	Planta com 12 folhas totalmente expandidas
4	Emissão do pendão
5	Florescimento e polinização
6	Grãos leitosos
7	Grãos pastosos
8	Início da formação dos “dentes”
9	Grãos duros
10	Maturidade fisiológica (aparecimento da camada negra)

2.2 Acúmulo de matéria seca pelo milho

O milho é uma planta C4 que não se satura luminicamente, sendo altamente eficiente no aproveitamento da luz. Há uma estreita relação entre o rendimento da cultura do milho e a sua capacidade de aproveitamento da energia solar. Entretanto, a eficiência da conversão da energia luminosa em matéria seca depende de um conjunto de fatores intrínsecos à planta (fatores fisiológicos) e de condições extrínsecas ou ecológicas (Blackman & Hudgson, 1957; Black & Blackman, 1959; citados por Silva et al., 1974). De modo geral, se aceita que qualquer condição, intrínseca ou extrínseca à planta, que possa incrementar a intensidade fotossintética das folhas propicia um aumento na produção de matéria seca da planta.

Os seguintes fatores exercem influencia significativa na acumulação de matéria seca na planta: área foliar, teor de clorofila, grau de reflexão da luz pela comunidade (albedo), arquitetura foliar do cultivar, intensidade e qualidade da luz incidente, dinâmica das trocas gasosas (Gabrielsen, 1948; Monteith, 1966), disponibilidade de água no solo (Vasconcelos et al., 1983), fertilidade do solo (Andrade et al., 1975; Hanway, 1962; Husberti, 1972), arranjo espacial das plantas (Furlani et al., 1977; Husberti, 1972) e tipo de grão (Furlani et al., 1977; Silva et al., 1974). Entretanto, cultivares com características semelhantes (produção, tipo de grão, porte, ciclo, etc.), de modo geral, tendem a acumular matéria seca em quantidades semelhantes (Andrade et al., 1975; Mehla & Singh, 1980).

O primeiro trabalho expressivo sobre o acúmulo e a distribuição de matéria seca em relação ao ciclo da planta de milho foi realizado por Sayre (1948), nos Estados Unidos da América. Este autor utilizou cultivares adaptadas a regiões temperadas e sistema de manejo diferente do adotado em condições tropicais brasileiras e seu trabalho apresenta dados detalhados da acumulação e distribuição de matéria seca nas partes aéreas das plantas de milho. Vale ressaltar que a maior parte dos estudos sobre acúmulo e distribuição de matéria seca tem sido realizada em países de clima temperado e, nem sempre, eles podem ser extrapolados para as condições tropicais (Krug, 1966).

De acordo com os trabalhos de Andrade et al. (1975), que utilizaram cinco cultivares, e os de Furlani et al. (1977) e Vasconcelos et al. (1983), ambos com duas cultivares, o crescimento do milho é uma função linear do tempo e a curva do peso de matéria seca da planta inteira é ligeiramente sigmóide. Segundo esses autores, esta curva é praticamente linear, dos 40 aos 80 dias, com o máximo acúmulo ocorrendo entre 100 e 110 dias, quando começa a decrescer o peso total da planta, provavelmente devido à queda de folhas senescentes. Os

resultados obtidos por estes autores são semelhantes aos obtidos por Sayre (1948).

A curva sigmóide do acúmulo de matéria seca na parte aérea da planta de milho em função do tempo tem taxa máxima próxima ao florescimento e um acúmulo contínuo e significativo a partir do início da formação das espigas até a maturidade fisiológica (Hanway, 1962; Karlen et al., 1987; Sayre, 1948). Por outro lado, Adelama & Milbourn (1972) verificaram queda acentuada na taxa líquida de assimilação de matéria seca após o florescimento feminino. Hay et al. (1953) obtiveram maior taxa líquida de assimilação da matéria seca durante a primeira semana após a polinização. Entretanto, Furlani et al. (1977) observaram a maior taxa diária de acúmulo de matéria seca no período entre a diferenciação do pendão e a diferenciação da espiga, período este anterior ao florescimento da cultura do milho.

O arsenal fotossintético da planta de milho é, quase na sua totalidade, construído até o florescimento, a partir de quando a planta começa a priorizar o desenvolvimento de suas partes reprodutivas, ocorrendo acentuada mobilização de fotoassimilados das folhas para os grãos. Daynard et al. (1969) sugeriram a continuidade do armazenamento de matéria seca no colmo durante as primeiras três semanas após o florescimento feminino. Na segunda metade do período de enchimento de grãos, há uma significativa remobilização da matéria seca do colmo para as espigas, podendo ocorrer perda absoluta de massa do colmo. Isto, segundo Adelama e Milbourn (1972), pode ser devido ao aumento da capacidade de dreno da espiga ou à redução da produção de fotoassimilados pelas folhas, com o fim do período de crescimento.

É comum observar redução na quantidade de matéria seca, no final do ciclo da planta, especialmente após a formação da metade da massa total de grãos (Andrade et al., 1975; Basso & Reichardt, 1995; Sayre, 1948;

Vasconcellos et al., 1983). Isto, provavelmente, ocorre devido à perda de parte das folhas despedaçadas e à lixiviação de potássio das folhas e do colmo, além do aumento da capacidade de dreno da espiga.

A acumulação de matéria seca nas diferentes partes da planta de cultivares de milho em função do tempo, de maneira geral, tem um padrão de partição semelhante, com acentuado acréscimo no acúmulo a partir do florescimento, principalmente em condições de alta produtividade (Karlen et al., 1988; Ulhoa, 1982; Vasconcellos et al., 1983). Vasconcellos et al. (1983), comentam que, apesar de diferenças encontradas na acumulação na parte vegetativa das cultivares, estas não apresentaram tendência em refletir no peso total da planta, indicando que as diferenças deveram-se, provavelmente, ao estágio vegetativo destas, o que provocou diferenças na partição da matéria seca

Nas folhas de plantas de milho, o acúmulo de matéria seca é relativamente lento no início do desenvolvimento vegetativo; após este período, há incremento considerável na acumulação de matéria seca, que é máxima no florescimento (Hanway, 1962; Vasconcellos et al., 1983). Hanway (1962) verificou que mais de 50% do crescimento das folhas ocorre entre 38 e 62 dias após a emergência. Já Vasconcellos et al. (1983) observaram que o período em que ocorreu considerável acúmulo de massa foliar foi dos 35 aos 56 dias após a emergência para o milho cultivado com irrigação e dos 35 aos 78 dias para cultivo não irrigado. Após o florescimento, as folhas da planta de milho não mais acumulam matéria seca e ainda sofrem redução desta, devido à intensa mobilização de fotoassimilados para as partes reprodutivas, lixiviação de potássio, queda e despedaçamento de folhas, principalmente as baixas (Sayre, 1948; Vasconcellos et al., 1983).

No colmo de plantas de milho, o acúmulo de matéria seca é relativamente lento no início, apresentando considerável incremento a partir dos

30 dias após a emergência, atingindo o máximo cerca de três semanas após o florescimento (Daynard et al., 1969; Vasconcellos et al., 1983). A partir daí começa a ocorrer perda absoluta de massa no colmo, devido à remobilização da matéria seca para o enchimento de grãos, para atender ao aumento da capacidade de dreno da espiga (Duncan et al., 1965; Adelama & Milbourn, 1972), além da lixiviação de K do colmo (Sayre, 1948).

O acúmulo de matéria seca na espiga inicia com a fertilização é, inicialmente lento, e é crescente até a maturidade fisiológica (Andrade et al., 1975; Vasconcellos et al., 1983). Há intensa mobilização de fotoassimilados das folhas e remobilização de matéria seca do colmo para o enchimento das espigas. O aumento da matéria seca da planta de milho após o florescimento deve-se, principalmente, ao acúmulo na espiga, ou seja, nos grãos, palhas e sabugos (Daynard et al., 1969; Vasconcellos et al., 1998; Vasconcellos et al., 1983).

2.3 Exigências nutricionais do milho

Apesar do alto potencial produtivo da cultura, evidenciado por produtividades de 12 t ha⁻¹ de grãos e 70 t ha⁻¹ de forragem, alcançadas no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa, na prática, são produções baixas e irregulares, ou seja, 2 a 3 t ha⁻¹ de grãos e 10 a 45 t ha⁻¹ de forragem. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado de calagem e adubações e à alta capacidade extrativa do milho colhido para a produção de forragem.

O plantio e a condução de uma lavoura de milho visam obter alta produtividade e lucro com a venda do produto colhido. Além de condições naturais favoráveis, como a melhor época de plantio, boas condições de clima e solo, requer ainda muitas e oportunas decisões da parte do agricultor, em geral

baseadas nas recomendações técnicas oriundas de pesquisas; dentre estas, se destacam a escolha da cultivar, da melhor alternativa de manejo cultural e o adequado manejo da adubação.

A maior parte do peso seco de um vegetal consiste de materiais orgânicos resultantes da fotossíntese e de processos subseqüentes. Os nutrientes essenciais, elementos nutricionais de que a maioria das plantas necessita para completar seu ciclo são: C, O, H (fornecidos pelo ar e pela água); N, P, K (macronutrientes primários); Ca, Mg, S (macronutrientes secundários) e B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn (micronutrientes). O suprimento adequado de cada nutriente em cada estágio de desenvolvimento da cultura é essencial para o crescimento ótimo em todos os estádios (Ritchie et al., 2003).

Do ponto de vista nutricional, a planta de milho é considerada exigente, respondendo a aumentos nos níveis de adubação com ganhos crescentes em produtividade, respeitando-se o potencial produtivo da cultivar.

A nutrição mineral adequada da cultura do milho é uma das formas de aumentar a produtividade, principalmente por afetar a área foliar produzida nos primeiros estádios de crescimento e o tempo em que as folhas permanecem vivas e funcionando durante a formação dos grãos (Hanway, 1962). A nutrição adequada da planta pode ser obtida por meio de programas de adubação que considerem, além da quantidade de fertilizante fornecida, também o balanço entre os nutrientes requeridos, aliado às condições climáticas adequadas, principalmente quanto à precipitação pluviométrica (Bull & Cantarella, 1993). Entretanto, o planejamento da adubação, com base na fertilidade atual e almejada, deve ser aferido por meio da análise química da folha, da observação dos estádios fenológicos da planta e do rendimento (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

As necessidades nutricionais da planta de milho são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. A quantidade de nutrientes extraídos dependerá da produtividade obtida e da acumulação de nutrientes nos grãos e em outras partes da planta. É necessário, então, colocar à disposição da planta as quantidades de nutrientes que ela extrai, os quais devem ser repostos pelo solo e pelas adubações.

Após a definição das doses de nutrientes a aplicar para a cultura, o passo seguinte é conhecer a absorção e a acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas de maior exigência da planta em cada elemento. Essa informação, associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos, auxilia na identificação da necessidade de aplicação, parcelada ou não, de fertilizantes.

A marcha de absorção de nutrientes na cultura do milho pode ser afetada pelo clima, pelas cultivares e pelos sistemas de cultivo. De modo geral, pode-se dizer que os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo, sendo as diferenças verificadas nas velocidades de absorção destes em função do ciclo e na sua translocação das folhas e dos colmos para os órgãos reprodutivos (Andrade et al., 1975).

As recomendações oficiais de adubação para a cultura de milho no Brasil, dentre outras, propostas por Cantarella et al. (1996) e CFSEMG (1999), contemplam doses de nutrientes baseadas na produtividade esperada e de acordo com o tipo de exploração (grãos ou forragem). Isto ocorre devido ao fato das plantas oriundas de cultivos que buscam maiores rendimentos extraírem e exportarem maiores quantidades de nutrientes, necessitando, portanto, de doses diferentes de fertilizantes (Tabela 3). Entretanto, essas recomendações, apresentadas na forma de tabelas, dizem respeito a valores médios para um sistema radicular, explorando um volume pré-determinado de solo. Este

procedimento generalizado é apenas um indicativo e precisa ser adequado para cada caso, o que depende da experiência de quem está planejando a adubação e de aspectos referentes à economicidade da exploração agrícola (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

TABELA 3. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem, em diferentes níveis de produtividade.

Tipo de exploração	Produção (t ha ⁻¹)	Nutrientes extraídos (kg ha ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	17	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
		Exportação pelos grãos (%)				
		70-77	77-86	26-43	3-7	47-69
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: Coelho e França (1995).

2.4 Absorção, acúmulo e exportação de nutrientes pelo milho

Entende-se por acúmulo de nutrientes as quantidades destes na matéria seca de cada parte da planta (raiz, folha, caule, palha, sabugo e grãos) e, por absorção ou extração de nutrientes, os totais dos acúmulos de nutrientes ocorridos nas diferentes partes da planta. A quantidade do elemento retirada da

área de plantio pelos produtos da colheita é denominada exportação de nutrientes, o que depende da finalidade da cultura (produção de grão, milho verde ou forragem) (Malavolta et al., 1997).

As diferentes partes vegetativas que compõem uma planta durante seu ciclo de desenvolvimento podem funcionar como fonte ou como dreno. Conhecer como ocorre o acúmulo de nutrientes em cada uma dessas partes durante o ciclo é de fundamental importância para o conhecimento da dinâmica da relação fonte-dreno e, conseqüentemente, para o estabelecimento de parâmetros de avaliação do seu estado nutricional e na definição de estratégias de fertilização da cultura.

O conhecimento das quantidades de nutrientes absorvidas e acumuladas nos diferentes estádios fenológicos da planta permite estimar as taxas que serão exportadas por meio da colheita de grãos ou forragem, e as que poderão ser restituídas ao solo pelos restos culturais. Com isso, é possível determinar as épocas em que os elementos são exigidos em maior quantidade e corrigir as deficiências que possam vir a ocorrer durante o ciclo da cultura (Barbosa Filho, 1987). Essas estratégias envolvem a definição das quantidades, bem como da época em que cada nutriente deve ser disponibilizado para a cultura.

As quantidades extraídas variam em função da produtividade obtida, que depende de fatores como cultivar, disponibilidade de nutrientes e água, manejo da cultura e condições climáticas, dentre outros (Beauchamp et al., 1976; Hanway, 1962; Pollmer et al., 1979; Rodriguez, 1977).

As diferenças entre as cultivares quanto ao acúmulo de nutrientes começam a surgir desde a época de formação do pendão (Andrade et al., 1975), devido a fatores intrínsecos e extrínsecos à planta. Entretanto, as quantidades acumuladas de nutrientes dependem do nível de disponibilidade destes no solo (Bull & Cantarella, 1993), bem como da disponibilidade hídrica (Loué, 1963).

Quando o objetivo é a produção de grãos, a exportação de nutrientes pela cultura do milho será menor do que quando o objetivo é a produção de silagem; no primeiro caso, ocorre reposição de parte dos nutrientes extraídos por meio dos resíduos remanescentes da colheita. A prática de incorporação dos restos culturais pode representar a restituição de, aproximadamente, 42% do nitrogênio, 45% do fósforo e 81% do potássio pela cultura do milho (Muzilli & Oliveira, 1982). Entretanto, o aumento da produtividade não implica, necessariamente, que a exportação de nutrientes aumente na mesma proporção (Bull & Cantarella, 1993).

A absorção de nutrientes logo no início do ciclo da cultura do milho é mínima, pois as reservas contidas nas sementes são suficientes para as necessidades iniciais da planta (Stipp & Yamada, 1988). Nas três primeiras semanas após o plantio, quase não há absorção de minerais do solo, sendo os elementos contidos nas sementes mobilizados e translocados para raízes e parte aérea. Apesar da pequena quantidade de nutrientes absorvidos no início do ciclo, as concentrações destes na região do solo que circunda as raízes da planta naquele estágio, geralmente, devem ser altas. Após este período inicial, diferenças na absorção e acúmulo de nutrientes começam a surgir, devido a fatores intrínsecos e extrínsecos à planta.

De maneira geral, as absorções de N, P, K, Ca e Mg aumentam com o acréscimo da produtividade da cultura do milho. O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade, seguido por K, P, Ca e Mg (Coelho & França, 1995; Vasconcellos et al., 1983; Vasconcellos et al., 1998)).

Com relação à exportação para os grãos, o fósforo e o nitrogênio são translocados para os grãos quase que na sua totalidade, seguindo-se o magnésio, o potássio e o cálcio; na incorporação dos restos culturais do milho devolve-se parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada (Bull,

1993). Todavia, mesmo com a prática da incorporação, devido às grandes quantidades de nutrientes exportadas pelos grãos e parte aérea, é necessária a reposição desses nutrientes em cultivos seguintes. Segundo Hanway (1962), na maturidade, cerca de um terço do N e metade do P parecem ser provenientes de outras partes da planta inclusive da palha e do pedúnculo da espiga. Mais da metade do N, P e Zn acumulados na matéria seca da parte aérea das plantas de milho encontra-se nos grãos (Andrade et al., 1975; Hiroce et al., 1989). Na Tabela 4 estão apresentados os percentuais de nutrientes translocados para os grãos de milho, obtidos por Fernandes et al. (1998) e por Vasconcellos et al. (1983), em Sete Lagoas, MG.

TABELA 4. Percentuais de nutrientes translocados de outras partes vegetativas da planta para os grãos, em cultivares de milho, na maturidade fisiológica.

Autores	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn
Fernandes et al. (1998) ⁽¹⁾ .	71-77	77-86	26-43	3-7	47-69	53-77	35-87
Vasconcellos et al. (1983) ⁽²⁾ .	66-77	71-84	34-57	1-3	36-50	-	44-63

⁽¹⁾ Híbrido triplo C805, população de 50.000 pl ha⁻¹, Sete Lagoas.

⁽²⁾ Variedade BR105 e a variedade BR126, população de 50.000 pl ha⁻¹, Sete Lagoas.

O milho apresenta dois diferentes períodos de intensa absorção de nutrientes; o primeiro ocorre durante a fase de desenvolvimento vegetativo, mais precisamente entre os estádios V12 e V18, na classificação sugerida por Richie e Hanway (1986) ou no estágio 4, na classificação sugerida por Fancelli (1986). Neste estágio, o número potencial de grãos está sendo definido. O segundo

período de intensa absorção é durante a fase reprodutiva ou a formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (Karlen et al., 1987).

Bull & Cantarella (1993) apresentam curvas de absorção de nutrientes considerando cinco cultivares de milho e afirmam que, de modo geral, o pico de absorção de N ocorre aos 80 dias após a germinação e que a quantidade requerida é de 180 kg de N ha⁻¹. Para o P e o K, o pico de absorção ocorre entre 80-100 e 75 dias, respectivamente e a quantidade requerida é de 30 kg ha⁻¹ para P e 218 kg ha⁻¹ para K. Para Ca, Mg e S, o pico ocorre aos 80-90, 80 e 80-90 dias, respectivamente e as quantidades requeridas por hectare são de 34 kg para o Ca e Mg e 32 kg para o S. Para os micronutrientes Mn e Zn, o pico de absorção ocorre aos 80 dias após a germinação e as quantidades requeridas são de 656 e 332 g ha⁻¹, respectivamente. Já para Fe e o Cu, o pico de absorção é mais tardio, ocorrendo somente aos 100 dias, sendo a exigência do Fe de 1.610 g ha⁻¹ e a de Cu de 150 g ha⁻¹.

Tendo em vista que estudos, em condições tropicais (Andrade et al., 1975; Vasconcellos et al., 1983) foram realizados há muitos anos e que o melhoramento genético produz, em curto espaço de tempo, cultivares cada vez mais produtivas e precoces, estudos atuais a respeito da marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca podem revelar variações quanto às épocas e às quantidades requeridas de nutrientes, diferentemente daquelas anteriormente determinadas.

2.4.1 Nitrogênio

O nitrogênio é um dos nutrientes que apresentam os efeitos mais significativos no aumento da produtividade do milho, sendo constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, e tem importante função como integrante da molécula de clorofila (Bull, 1993). Em solos de boa fertilidade ou devidamente corrigidos é o nutriente que

controla os níveis de produtividade da cultura (Cantarella, 1993). Este nutriente se destaca por apresentar acentuado dinamismo no sistema solo e por ser, normalmente, exigido em maiores quantidades pelas culturas (Guilherme et al., 1995).

Trata-se, pois, de um nutriente essencial ao desenvolvimento e ao crescimento da planta, pelas relevantes funções na síntese e na produção de aminoácidos. A translocação de açúcares e de nitrogênio de órgãos vegetativos, principalmente folhas, para os grãos, está estreitamente relacionada com a formação de grãos na cultura do milho (Crawford et al., 1982). A este fator, além dos efeitos deste nutriente sobre o crescimento radicular, o aumento no número de espigas por planta e do comprimento de espigas, pode ser atribuído o aumento de produtividade proporcionado pelo nitrogênio (Balko & Russel, 1980). Portanto, é evidente a relação entre a área foliar verde e a produção de grãos. Isto ocorre, basicamente, pela maior capacidade das folhas bem nutridas em nitrogênio de assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior acúmulo de biomassa.

O acúmulo de N na planta de milho segue tendência similar à da matéria seca, sendo que a taxa máxima de acúmulo ocorre cerca de uma semana mais tarde que a de matéria seca, o que coincide com o florescimento feminino (Sayre, 1948; Hay et al., 1953). Contudo, o máximo de acúmulo de N ocorre em torno de 90-100 dias (Andrade et al., 1975; Hanway, 1962; Loué, 1963; Sayre, 1948). Entretanto, Vasconcellos et al. (1983), na ausência de irrigação suplementar, obtiveram o máximo de acúmulo aos 115 dias. Esses autores, na presença de irrigação suplementar, não constataram pontos de máxima acumulação o que, provavelmente, foi reflexo dos poucos pontos obtidos na fase inicial e final do desenvolvimento das plantas (15, 35, 56, 79, 119 e 140 dias), havendo adequação dos dados dentro do período estudado.

Segundo Arnon (1975), as exigências em N variam com os estádios fenológicos da planta de milho, sendo mínimas nos estádios iniciais, aumentando com a elevação da taxa de crescimento e alcançando o pico máximo entre o início do florescimento e o início da formação de grãos. Entretanto, o conteúdo percentual de N em plantas jovens de milho é maior que em outras fases do ciclo vegetativo, embora, quantitativamente, a necessidade do nutriente seja baixa em razão do pequeno porte da planta.

Karlen et al. (1988) observaram dois picos distintos de acúmulo de N em plantas de milho. O primeiro, no estágio de crescimento vegetativo (entre V12 e V18), quando o potencial do número de grãos tinha sido estabelecido e o segundo no estágio reprodutivo (enchimento de grãos), quando o potencial de produção estava sendo alcançado. Entretanto, a curva de acúmulo de N apresenta gradual declínio entre os estádios vegetativo e reprodutivo e uma aparente perda de N da parte aérea, havendo intensa absorção até próximo da maturidade fisiológica.

A redução no acúmulo de N na parte aérea da planta de milho se dá por meio de perdas pelas raízes e pela parte aérea (pólen, flores, folhas), por perdas gasosas e por lixiviação, pela chuva, pelo orvalho ou pela água de irrigação, de compostos nitrogenados solúveis produzidos durante a sua translocação, das folhas velhas para as novas (Wetselaar & Farquhar, 1980).

Hanway (1962) evidenciou perda líquida de N durante a translocação da parte vegetativa para o desenvolvimento reprodutivo, sugerindo que, entre o florescimento feminino e a formação de grãos, algum N tenha sido translocado das folhas baixas e algum N foi perdido do colmo, provavelmente pelo desprendimento do pólen. Estas perdas líquidas ocorridas neste período podem ser, também, devido à volatilização de N, devido ao baixo dreno, aos reflexos da limitada capacidade da inflorescência para armazenar nitrogênio e à ausência de

rápido crescimento de grãos (Karlen et al., 1988; Wetselaar & Farquhar, 1980), ou a retroinibição, causando interrupção na absorção pela planta (Karlen et al., 1988). Já a redução no acúmulo de N nos estádios finais da cultura pode ser devido a perdas do nutriente por volatilização (Karlen et al., 1988), pois ocorrem perdas gasosas de NH_3 através das folhas, pelo aumento da proteólise durante a senescência (Farquhar et al., 1979).

Ocorrem também perdas de N do pólen, das flores e das folhas, por perdas gasosas e por lixiviação, pela chuva, pelo orvalho ou pela água de irrigação, de compostos nitrogenados solúveis produzidos durante a sua translocação das folhas velhas para as novas (Wetselaar & Farquhar, 1980).

O teor de N em tecidos de plantas jovens de milho é maior que em outras fases do ciclo (Andrade et al., 1975), entretanto, o seu adequado fornecimento à planta é indispensável à obtenção de boas produções de grãos (Schreiber et al., 1988).

A formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares (Crawford et al., 1982) e de nitrogênio de órgãos vegetativos, principalmente das folhas, para os grãos (Karlen et al., 1988). É evidente a relação entre a área verde e a produção de grãos, pela maior capacidade de assimilar CO_2 e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando também em maior acúmulo de biomassa. Hanway (1962) observou que mais da metade do total de N já tinham sido acumulado nas plantas de milho, no estágio de florescimento.

2.4.2 Fósforo

O fósforo é um nutriente fundamental nos estádios iniciais da cultura do milho. Sua redução nesta fase acarreta redução no número de espigas por unidade de área e conseqüente redução na produtividade (Mengel & Kirby, 1987), porém, seus efeitos na produção são menos pronunciados que os do

nitrogênio. O fósforo estimula o crescimento radicular e a diminuição da velocidade da morte do córtex radicular, afetando, com isso, o crescimento da parte aérea e a produção. Tudo isso reflete no tamanho e na qualidade do grão produzido, aumentando, inclusive, o teor de proteína no grão (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

A resposta da cultura do milho ao fósforo, geralmente, é alta, devido ao fato de os solos brasileiros apresentarem baixos níveis deste nutriente. Mas também essa é dependente da dose de nitrogênio que definirá o potencial da cultura, além da tecnologia utilizada.

O fósforo atua na fotossíntese e na respiração, como integrante de ácidos nucléicos, fosfolipídeos, coenzimas NAD e NADP, ATP e outros compostos importantes para o desenvolvimento vegetativo. Portanto, todos os processos na planta, que envolvem gasto de energia, desde a absorção de nutrientes até a formação dos diferentes órgãos, tem a participação direta ou indireta desse nutriente.

O acúmulo de fósforo pela planta de milho, assim como o de N, é semelhante ao de MS. A planta continua absorvendo P do solo até próximo à maturidade fisiológica dos grãos, sem redução aparente nos estádios finais (Karlen et al., 1987; Loué, 1963). Para o milho, assim como para a maioria dos cereais, nos estádios iniciais de desenvolvimento, apesar da pequena quantidade de P exigida, um inadequado suprimento acarreta redução na produção, como consequência da diminuição do número de espigas por unidade de área (Mengel & Kirkby, 1987), porém, com menor dimensão que a causada pelo insuficiente suprimento de N nesta fase da cultura (Neptune et al., 1982; Obreza & Rhoads, 1988; Santos et al., 1975; Smyth & Bastos, 1985; Sumner & Farina, 1986).

O máximo acúmulo de fósforo e de matéria seca ocorre ao mesmo tempo, ou seja, na maturidade fisiológica, independentemente do tipo de cultivar (Andrade et al., 1975). Esses autores compararam, em termos de idade

fisiológica, a quantidade absorvida de fósforo e verificaram que ela foi semelhante à encontrada por outros autores (Hanway, 1962; Loué, 1963; Neptune, 1966; Sayre, 1948; Sayre, 1956), e que o ponto de exigência máxima em fósforo situa-se em torno dos 60 dias após a germinação. Essas quantidades foram superiores às encontradas por Jones & Huston (1914), mostrando que cultivares mais recentes têm maior exigência e maior capacidade de absorção de P em relação às cultivares utilizadas no início do século passado.

O nitrogênio e o fósforo são muito semelhantes quanto ao padrão de distribuição nas diferentes partes das plantas com o decorrer do desenvolvimento delas, com uma modesta absorção no início e posterior incremento crescente nos totais acumulados. Entretanto, o inadequado suprimento inicial de fósforo proporciona redução no número de espigas por hectare e, conseqüentemente, da produção de grãos (Mengel & Kirkby, 1987).

2.4.3 Potássio

O potássio é o segundo elemento absorvido em maiores quantidades pelo milho, sendo 29% exportados nos grãos (Hiroce et al., 1989). Ele é importante em inúmeros processos bioquímicos envolvidos com a síntese e o metabolismo de carboidratos, como a fotossíntese e a respiração, apesar de não ser integrante de nenhum composto dentro da planta (Malavolta & Crocomo, 1982). Atua como ativador de um grande número de enzimas de células vegetais, principalmente do grupo das sintetases, oxidoredutases, desidrogenases e quinases, estando estreitamente relacionado com os processos de assimilação de CO₂ e nitrogênio. Favorece a formação de compostos nitrogenados de alto peso molecular, como as proteínas, e com a síntese, a translocação e o armazenamento de açúcares (Bull & Cantarella, 1993). Além de aumentar a assimilação de CO₂, o potássio ainda melhora a eficiência de

utilização da luz pela cultura do milho, relacionando-se a este efeito o aumento da área foliar proporcionado por este nutriente.

Por ser o mais importante soluto inorgânico em plantas que é osmoticamente ativo, o potássio é muito importante no crescimento e na extensão celular (Mengel & Kirkby, 1987). Esse nutriente tem também importância significativa nos processos que controlam o uso da água pela planta. Plantas adequadamente nutridas com potássio têm menor necessidade de água e menor perda de água por causa de reduzida taxa de transpiração e da ação deste nutriente como agente osmótico no mecanismo de fechamento e abertura dos estômatos, bem como o regime hídrico das células e tecidos das plantas (Lauchli e Pfluger, 1978). Isso resulta em maior eficiência do milho no uso da água. O teor de potássio na planta está estreitamente relacionado com resistência a doenças (Huber & Arny, 1985), a estresse de umidade, à baixa temperatura (Mengel & Kirkby, 1987) e ao acamamento (Bull & Cantarella, 1993).

O período de máximo acúmulo de potássio pela planta de milho ocorre de maneira diferente ao de N e de P. A quantidade máxima de K ocorre bem antes da de N e P (Andrade et al., 1975; Hanway, 1962; Sayre, 1948; Vasconcellos et al., 1983) e excede a de N nos estádios iniciais (Hanway, 1962; Sayre, 1948).

Hanway (1962) observou que cerca de dois terços do K são acumulados pela planta de milho até o estágio de florescimento. Karlen et al. (1988) observaram 86% de acúmulo de K para o mesmo período, ou seja, da fase vegetativa ao início do desenvolvimento reprodutivo. Contudo, Overman et al. (1995) observaram correlação positiva e significativa entre a produção de matéria seca na parte aérea neste período e o acúmulo de K. Já Vasconcellos et al. (1983), trabalhando com uma cultivar precoce para produção de grãos e com

uma cultivar tardia para a produção de silagem, observaram o máximo acúmulo de K em torno dos 90 dias.

2.4.4 Cálcio

As principais funções do cálcio na cultura do milho são as absorções de íons, a manutenção da integridade de membrana plasmática, a formação da parede celular, a divisão celular e os processos metabólicos celulares (Pavan e Miyazama, 1984). É indispensável à germinação do grão de pólen e para o crescimento do tubo polínico (Malavolta, 1980). O cálcio desempenha importante papel na assimilação de nitratos e na formação das proteínas pelas plantas.

O acúmulo de Ca pela planta de milho acontece durante todo o ciclo de desenvolvimento, principalmente durante a fase vegetativa, quando se chega a 85% do total acumulado (Karlen, 1988). O pico máximo ocorre entre 110 e 136 dias, ou seja, antes da maturidade (Vasconcellos et al., 1998). Por outro lado, Andrade et al. (1975) e Furlani et al. (1977), observaram o acúmulo máximo de Ca entre 80 e 90 dias. Contudo, esses autores, como também Karlen et al. (1988), observaram modesto acúmulo de Ca nos estádios iniciais do ciclo da planta.

2.4.5 Magnésio

O magnésio é um elemento constituinte fundamental da molécula de clorofila, participando ativamente na fotossíntese. O Mg também participa na composição da fitina, que se acumula nas sementes. Quando estas germinam, o fósforo e o magnésio migram para as diversas partes da planta em vias de desenvolvimento, contribuindo para a formação de novos tecidos. Segundo Vasconcellos et al. (1998), o magnésio e o fósforo apresentam padrão

semelhante de distribuição na planta, ou seja, uma provável mobilização para os grãos, seguindo o processo de absorção. Além do mais, funciona como transportador de fósforo dentro da planta e como ativador de algumas importantes enzimas do metabolismo de carboidratos (Neptune, 1984).

A acumulação de Mg é distribuída por todo o ciclo de desenvolvimento da planta de milho, observando-se elevação significativa da taxa de absorção na fase de enchimento de grãos, com o ponto de máximo acúmulo ocorrendo aos 80 dias (Andrade et al., 1975; Karlen et al., 1988).

Vasconcellos et al. (1983) observaram o ponto de inflexão na curva de acúmulo de Mg em torno dos 90 dias, quando o milho foi conduzido sem irrigação e constataram o máximo acúmulo desse nutriente entre 120 dias e a maturidade, quando o milho foi conduzido com irrigação.

De maneira análoga ao cálcio, o magnésio tem modesta acumulação na planta de milho, nos estádios iniciais. Contudo, Villachica & Cabrejos (1974) observaram existir correlação positiva e significativa entre produção de matéria seca e acúmulo de magnésio na parte aérea do milho.

2.4.6 Enxofre

O enxofre é um nutriente importante para o crescimento de raízes no milho. Há uma estreita relação entre o teor foliar de enxofre e a produção relativa de grãos na cultura do milho. Respostas do milho à aplicação de enxofre foram obtidas também na produção de matéria seca (Freire et al., 1972; Soares et al., 1983; Kliemann, 1987, citado por Vitti, 1989). Esse elemento é componente dos aminoácidos cistina, metionina e cisteína, os quais são componentes de proteína, encerrando 90% do enxofre encontrado na planta. Está também ligado às vitaminas biotina e tiamina e também é componente do acetil-CoA, composto que representa o “centro nervoso” no ciclo de Krebs, influenciando, portanto, todo o metabolismo de gorduras e carboidratos. Participa, ainda, na formação da

clorofila e, por meio do grupo sulfidrilo (-SH), parece aumentar a resistência do tecido vegetal ao frio e à seca (Vitti, 1984).

O enxofre é acumulado durante todo o ciclo da cultura do milho, principalmente durante o estágio de desenvolvimento reprodutivo na espiga e no pedúnculo, o que requer adequada fertilização que possibilite disponibilizar tardiamente esse nutriente à cultura (Karlen, 1988).

O acúmulo de enxofre na planta de milho segue padrão similar ao do N. Entretanto, as quantidades de S acumulado nos estádios iniciais e suas quantidades totais são inferiores às de N. A quantidade máxima de S acumulado ocorre entre 80 e 90 dias, a partir de quando há uma queda acentuada no acúmulo de S na planta (Andrade et al., 1975; Gallo et al., 1968). Stewart & Porter (1969) obtiveram máximas produções de matéria seca em plantas jovens de milho quando a relação N/S no tecido se apresentava em torno de 11.

2.4.7 Boro

Quanto ao boro, nenhuma função específica deste micronutriente foi identificada. Seu metabolismo na planta ainda não é bem compreendido. Sabe-se que suas funções estão relacionadas a alguns processos básicos, como o metabolismo de carboidratos e o transporte de açúcares através das membranas, a síntese de ácidos nucleicos (RNA e DNA) e de fitormônios, a formação de paredes celulares, a divisão celular e o desenvolvimento de tecidos. É um elemento importante para o desenvolvimento das partes novas das plantas de milho, que são muito exigentes.

Alguns autores observaram ausência de correlação entre o teor foliar de boro e produção de grãos de milho, em experimentos conduzidos em diferentes locais (Gallo et al., 1976). Woodruff et al. (1987) sugerem que aplicações de boro podem ser necessárias quando se intensifica o uso de práticas de aumento

de produtividade, associado às adubações pesadas com potássio. Andrade et al. (1975) e Hiroce et al. (1989) verificaram que o máximo acúmulo de B na parte aérea da planta de milho foi de 11,4 kg ha⁻¹ e 17,0 kg ha⁻¹, respectivamente.

2.4.8 Cobre

O cobre tem papel importante em processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação de nitrogênio, e metabolismo de proteínas e das paredes celulares (Dechen, 1988). Ele controla as relações de água na planta e as produções de RNA e DNA, e a sua deficiência reduz substancialmente a produção de sementes pelo aumento da esterilidade do pólen (Gallo et al., 1976). Está envolvido também nos mecanismos de resistência às doenças (Mengel & Kirkby, 1987).

Segundo Andrade et al. (1975), o ponto de máximo acúmulo de Cu na planta de milho situa-se entre os 101 e os 108 dias após a emergência. Analisando trabalhos realizados anteriormente com a cultura do milho (Andrade et al., 1975; Benne et al., 1964, citados por Olson & Lucas, 1967; Morrison, 1951, citado por Malavolta et al., 1974), observam-se divergências entre eles quanto à quantidade de Cu acumulado nas plantas.

2.4.9 Ferro

O ferro é um nutriente fundamental nas transformações de energia necessária para a síntese e outros processos da vida das células nas plantas. É componente de hemoproteínas e de outras proteínas não hemo e está envolvido no mecanismo de transferência de elétrons na fotossíntese, na redução de nitritos e de sulfatos, no metabolismo de ácidos nucleicos e na formação da clorofila. São também conhecidas as funções catalisadoras do Fe²⁺ e do Fe³⁺ (Borkert, 1989; Dechen, 1988).

Cultivares de milho cultivadas em solo com teor adequado de Fé tendem a não apresentar diferenças quanto à extração desse nutriente (Brown & Bell, 1969). Andrade et al. (1975), analisando cinco cultivares de milho, observaram o ponto de máximo acúmulo de Fe nas plantas, no período compreendido entre 106 e 120 dias após a emergência.

2.4.10 Molibdênio

O molibdênio é o nutriente requerido em menor quantidade pela planta de milho, participando como co-fator de enzimas, como a redutase do nitrato, a oxidase da xantina, a oxidase de aldeído e a oxidase de sulfeto. Sua deficiência na planta acarreta na redução da concentração de clorofila nas folhas e no decréscimo da eficiência da fotossíntese e a desagregação do metabolismo do nitrogênio, tendo como conseqüência o acúmulo de NO_3^- no tecido das plantas (Borkert, 1989), além de queda na germinação e, conseqüentemente, redução na população de plantas (Peterson e Purvis, 1961, citados por Tanner, 1979).

Com adequado suprimento de molibdênio à planta, este atua nos processos de redução do nitrato na planta, com incorporação do nitrogênio em aminoácidos e, posteriormente, em proteínas (Brown e Clark, 1974). Seus efeitos mais pronunciados talvez estejam na qualidade da semente, com reflexos praticamente em todas as fases da cultura. Pouco se encontra na literatura quanto à acumulação de Mo em plantas de milho.

2.4.11 Zinco

O zinco é micronutriente de efeitos mais significativos na cultura do milho, sendo benéfico para o aumento da altura das plantas, do número de folhas, na produção de forragem e produção de grãos, bem como no aumento no conteúdo total de nitrogênio e proteína nos grãos (Decaro et al., 1983). Áreas

com reconhecida deficiência de zinco acarretam às plantas de milho enraizamento superficial e ausência de espigas. Seus efeitos na produção de grãos se devem à deficiência generalizada deste micronutriente em solos brasileiros, principalmente em solos das regiões de cerrado (Bull & Cantarella, 1993).

As funções básicas do Zn na plantas estão ligadas ao metabolismo de carboidratos, das proteínas e dos sulfatos e na formação de auxinas, RNA e ribossomos (Borkert, 1989). Uma consequência de sua carência na planta de milho é o encurtamento dos entrenós, resultando na redução do crescimento da planta. Isso ocorre por ser o zinco necessário à produção de triptofano, um aminoácido precursor da AIA, hormônio vegetal promotor de crescimento (Barbosa Filho, 1987).

A concentração de Zn na planta de milho é dependente do pH do solo (Lutz et al., 1972) e do teor de P nos tecidos (Warnock, 1970). Entretanto, Andrade et al. (1975) não encontraram diferenças entre cultivares quanto à acumulação de Zn e observaram ser esse o micronutriente absorvido em maior quantidade pela planta de milho.

2.12 Manganês

O manganês participa do metabolismo do nitrogênio e forma pontes entre o ATP e as enzimas transferidoras de grupos fosfatos (Barbosa Filho, 1987). Esse nutriente é um importante ativador de enzimas que atuam no ciclo de krebs, como as descarboxilases e as desidrogenases e, juntamente com o cloro, atua no desdobraimento da molécula de água no fotossistema II.

O manganês participa de processos vitais da planta, acelera a germinação e a maturação, faz parte de enzimas e participa da formação da clorofila. A deficiência de Mn causa o aparecimento de uma desordem na estrutura dos

cloroplastos (Borkert, 1989). Ele acelera a germinação e a maturação e aumenta a disponibilidade de fósforo e de cálcio para os vegetais.

O ponto de máximo acúmulo de Mn na planta de milho ocorre entre 82 e 94 dias após a emergência (Andrade et al., 1975). O Mn é um dos elementos que podem ser lavados das folhas, acarretando perdas durante o ciclo vegetativo (Tukey et al., 1958).

2.13 Cloro

O cloro tem papel importante em processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação de nitrogênio, e metabolismo de proteínas e das paredes celulares. Controla as relações de água na planta e as produções de RNA e DNA. Sua deficiência reduz substancialmente a produção de sementes pelo aumento da esterilidade do pólen. Está envolvido também nos mecanismo de resistência às doenças. Pouco se encontra na literatura sobre a acumulação de cloro na parte aérea de plantas de milho.

Embora não se tenha detectado uma definida enzima ativada ou modulada pelo Cl, tem-se como clara a importância deste nutriente no fotossistema II da fotossíntese. Admite-se também ser o transporte eletrônico estimulado pelo Cl.

2.5 Mobilidade dos nutrientes

Os nutrientes têm comportamento diferente quanto à mobilidade no solo e na planta. De acordo com Malavolta (1980), a eficiência do fornecimento de nutrientes às plantas é dependente, dentre outros fatores, da mobilidade do nutriente no solo e na planta.

O nitrogênio no solo apresenta dinâmica complexa, devido à grande mobilidade no solo e às diversas transformações que sofre, por reações mediadas

por microrganismos. Dado esse dinamismo, o N é mais difícil de ser mantido no solo ao alcance das raízes, comparado aos outros nutrientes. Possui baixo efeito residual no solo e é requerido em grandes quantidades pela planta de milho. Portanto, a adubação nitrogenada precisa ser feita de forma muito mais pesada e constante que a adubação com os demais nutrientes.

O fósforo é o macronutriente exigido em menor quantidade pelas plantas. Todavia, é aplicado em maiores quantidades em adubações no Brasil, devido à forte tendência de reagir com componentes do solo para formar compostos de baixa solubilidade, o que o caracteriza como um nutriente pouco móvel no solo.

O potássio é um elemento móvel no solo, sendo seu comportamento, comparado ao do N, bastante simples. Ca, Mg e S também são móveis no solo, porém, o Ca, em solos intemperizados e em solos ácidos, pode ter sua disponibilidade às plantas comprometida.

Segundo Malavolta (1980), os nutrientes podem ser classificados, quanto à mobilidade na parte aérea das plantas, da seguinte maneira: altamente móveis (N, K e Na), móveis (P, Cl e S), parcialmente imóveis (Zn, Cu, Fé e Mo) e imóveis (B e Ca).

Os nutrientes que têm maior mobilidade na planta apresentam os sintomas de deficiência a partir das folhas mais velhas, já que podem ser redistribuídos das partes mais velhas da planta para as partes mais novas. Os macronutrientes, excetuando o Ca, têm mobilidade na planta, o que faz com que deficiências de Ca surjam inicialmente nas folhas mais jovens da planta.

Potássio é um nutriente de alta mobilidade na planta, em qualquer nível de concentração, seja dentro da célula, no tecido vegetal ou, ainda, no xilema e floema (Malavolta, 2000), comportamento semelhante aos de N, P, Mg e S.

Quanto à mobilidade na planta, os micronutrientes são pouco móveis, excetuando-se o Mo, que apresenta mobilidade mediana. Assim, pode-se esperar

que os sintomas de carência de micronutrientes apareçam, inicialmente, nos tecidos mais jovens das plantas (folhas apicais e extremidades de ramos).

O B é absorvido pelas plantas na forma de ácido bórico ou de borato, sendo um elemento considerado imóvel no floema (Mengel & Kirkby, 1987). Em espécies em que o B é imóvel, como o caso do milho, não há translocação das partes mais velhas da planta para tecidos meristemáticos (raízes ou extremidades das partes aéreas). Assim, os sintomas de deficiência são observados, primeiramente, nas partes mais jovens, sendo caracterizado pela interrupção do crescimento das partes terminais e pela secagem de folhas novas (Raij, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Foram utilizados dois híbridos simples de milho (P30F33 e GNZ2004) com características diferentes de arquitetura, ciclo, consistência do grão, porte, *stay green* e utilização (Tabela 5), e comprovadamente com alto potencial produtivo nas condições da região Sul de Minas Gerais. Ambos os materiais possuem bom *stay green*. O híbrido P30F33 é representativo de cultivares com alta produção de grãos e o híbrido GNZ2004, de cultivares com alta produção de forragem, para cultivos no Brasil.

TABELA 5. Características dos híbridos de milho utilizados nos experimentos.

Híbrido	Empresa	Base Genética	Ciclo	Tipo de grão	Porte	Época de plantio recomendada	Stay green	Densidade (x 1000 pl ha ⁻¹)
GNZ2004	Geneze	Híbrido simples	Precoce	Semi-dentado	Médio/alto	Normal	Bom	50-60
P30F33	Pioneer	Híbrido simples	Precoce	Semi-duro	Baixo/médio	Normal/Tardio	Bom	55-65

3.2 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida, em condições de campo, no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, MG. A cidade está situada a 21°14' de latitude Sul e a 45° 00' de longitude Oeste e a uma altitude de 910 metros.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo os dois híbridos de milho dispostos nas parcelas e, nas subparcelas, as épocas de coleta das plantas,

considerando os estádios fenológicos da cultura do milho, conforme Fancelli (1986). As plantas foram coletadas no final de cada estágio fenológico.

As subparcelas foram constituídas de quatro linhas de cinco metros espaçadas de 0,8 metros, sendo as duas linhas centrais consideradas úteis para efeito de coleta de dados e observações.

O solo da área experimental foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa e declividade de 9%. As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas considerando os resultados da análise do solo (Tabela 6).

Na adubação de plantio, utilizaram-se 500 kg ha⁻¹ da formulação 08-28-16 + 0,3% Zn, correspondendo a 40 kg ha⁻¹ de N, 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 80 kg ha⁻¹ de K₂O e 1,5 kg ha⁻¹ de Zn. Foram realizadas três adubações de cobertura: a primeira quando as plantas estavam com 4 folhas totalmente expandidas, aplicou-se 300 kg ha⁻¹ da formulação 30-00-20 (N, P₂O₅ e K₂O); a segunda quando as plantas estavam com 6 folhas totalmente expandidas, aplicando-se 150 kg ha⁻¹ de uréia e a terceira quando as plantas estavam com 8 folhas totalmente expandidas, aplicando-se 300 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. Logo após a primeira adubação de cobertura, ocorreu uma forte chuva, o que pode ter comprometido a eficiência da adubação. Os totais de N e K aplicados em cobertura foram 218 kg ha⁻¹ e 60 kg de K₂O ha⁻¹, respectivamente.

TABELA 6. Resultados da análise de amostras de solo (0–20 cm) da área onde foi conduzido o experimento, antes da aplicação dos tratamentos. UFLA, Lavras, 2006.

Característica química	
pH em H ₂ O	5,8
H + Al (cmol _c /dm ³)	2,3
Al (cmol _c /dm ³)	0,0
Ca (cmol _c /dm ³)	2,2
Mg (cmol _c /dm ³)	0,7
K (mg/dm ³)	39
P (mg/dm ³)	4,3
P-rem (mg/L)	16,4
Zn (mg/dm ³)	3,4
Fe (mg/dm ³)	98,8
Mn (mg/dm ³)	12,7
Cu (mg/dm ³)	2,4
B (mg/dm ³)	0,6
S (mg/dm ³)	9,8
Mat. Org. (g/kg)	31
SB (cmol _c /dm ³)	3,0
T (cmol _c /dm ³)	5,3
t (cmol _c /dm ³)	3,0
V (%)	56
m (%)	0
Características físicas	
Areia (g kg ⁻¹)	330
Silte (g kg ⁻¹)	230
Argila (g kg ⁻¹)	440
Classe textural	Argilosa

Extratores utilizados: P, K, Cu, Mn, Zn e Fé → Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Ca, Mg e Al → KCl 1 N; B → Água quente (HCl 1:1); S → Difosfato de cálcio 0,01 M.; Al + H → FMP ph 7,5.

A condução dos experimentos deu-se em período de ocorrência de temperaturas, intensidade e distribuição de chuvas favoráveis ao cultivo do milho (figura 1).

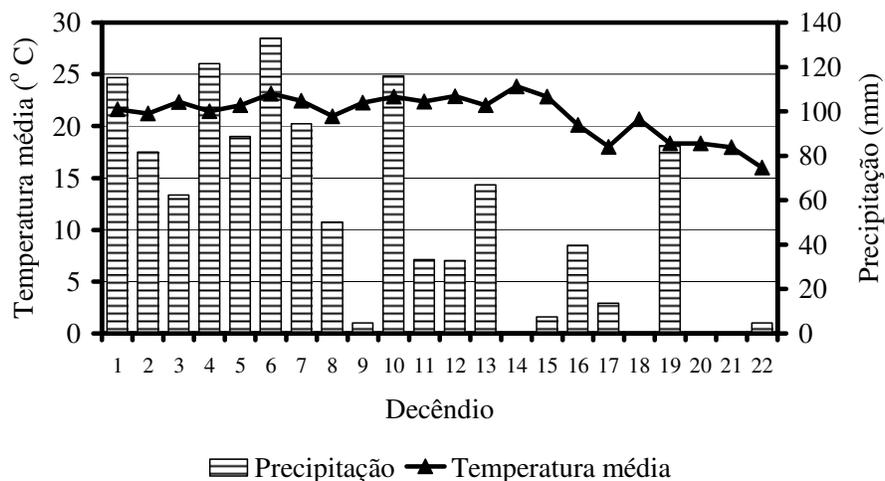


FIGURA 1. Dados médios de temperatura, em graus Celsius, e precipitação pluvial acumulada por decêndio, em milímetros, em Lavras, MG, de 21/11/2004 a 28/06/2005. Dados obtidos no Setor de Bioclimatologia da UFLA, Lavras, MG, 2006.

A área utilizada para a instalação do experimento vem sendo sempre ocupada com a cultura do milho, sob o sistema convencional de plantio na primavera-verão e deixada em pousio até a safra seguinte, incorporando-se os restos culturais e as plantas daninhas.

A semeadura foi realizada manualmente, em 22 de novembro de 2004, utilizando-se o dobro de sementes necessárias para a obtenção da densidade desejada (60.000 pl ha⁻¹). O desbaste das plantas foi realizado quando as mesmas estavam com 3 a 4 folhas totalmente expandidas. O controle de plantas daninhas

foi realizado manualmente, com enxada, aos 15 e aos 25 dias após a emergência das plantas. O controle de doenças não foi necessário e o controle da lagarta-do-cartucho foi realizado quando as plantas estavam com 4 a 5 folhas totalmente expandidas e quando estavam com 8 a 9 folhas, utilizando-se o inseticida Decis, na dosagem de 200 ml ha⁻¹.

Para efeito de coleta de dados, foi considerado o sistema de classificação dos estádios fenológicos da cultura do milho proposto por Fancelli (1986), adaptado de Nell & Smit (1978). Em cada estágio fenológico, nas duas fileiras centrais da subparcela, que foram consideradas como úteis, foram coletadas seis plantas para avaliação das seguintes características: matéria seca e os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, B, Fe e Mn na matéria seca total das plantas e em diferentes partes da planta.

A coleta de plantas ocorreu quando, pelo menos, cinquenta por cento da subparcela se encontrava no estágio fenológico respectivo. As plantas colhidas em cada subparcela foram cortadas rente ao solo e transportadas, em feixes, para o Laboratório de Grandes Culturas do DAG/UFLA, onde foram separadas em caule, folhas (inclusive as senescentes), palha, sabugo e grãos. Posteriormente, as partes vegetais foram lavadas em água corrente e destilada, secas em estufa de circulação forçada, a 70°C, até peso constante, para a determinação da matéria seca.

Os valores totais de matéria seca de cada parte da planta obtidos com as seis plantas colhidas em cada subparcela foram convertidos para quilos por hectare, considerando-se a densidade de 60000 pl ha⁻¹. Isso foi conseguido multiplicando-se os valores obtidos por 10.000, obtendo-se, como resultado, kg ha⁻¹ de MS da parte na subparcela. A matéria seca total da parte aérea das plantas na subparcela foi obtida com o somatório dos valores de MS das partes (folha, caule, palha, sabugo e grãos) na subparcela.

Amostras dos materiais de cada subparcela foram moídas e enviadas ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Ciência do Solo/UFLA, para a realização das determinações químicas dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes (Zn, Cu, B, Fe e Mn) na matéria seca das diferentes partes da planta.

Os valores obtidos para o teor de cada nutriente, em cada parte da planta na subparcela, foram convertidos para kg ha^{-1} , considerando o valor de MS da parte na subparcela, em kg ha^{-1} , de acordo com expressão:

$$\text{kg ha}^{-1} \text{ nutriente} = \frac{\text{teor do nutriente na MS da parte (g kg}^{-1}) \times \text{MS da parte (kg ha}^{-1})}{1000}$$

Foram avaliadas também a produtividade de grãos e a prolificidade. Para o cálculo da produtividade de grãos e da prolificidade, foram colhidas todas as espigas das duas linhas centrais das subparcelas. As espigas foram contadas e debulhadas e a prolificidade foi calculada pela relação entre o número de espigas colhidas na subparcela e o número de plantas na subparcela. Posteriormente determinou-se, em estufa, o teor de água dos grãos, sendo os valores obtidos corrigidos para a umidade padrão de 13% e também transformados para quilos de grãos por hectare.

Por meio do extrato nítrico-perclórico, foram determinados os teores de fósforo por colorimetria, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica, potássio por fotometria de chama e enxofre por turbidimetria do sulfato de bário (Malavolta et al., 1997). Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl (Malavolta et al., 1997). O boro, após digestão por via seca, foi determinado por colorimetria (método da curcumina) (Malavolta et al., 1997).

Não foram realizadas análises estatísticas para o acúmulo de ferro nas diferentes partes da planta, devido ao fato de os resultados obtidos para os teores desse nutriente na matéria seca apresentarem inconsistência e distorções. Isto, provavelmente, ocorreu devido à contaminação de amostras no período entre a coleta das plantas no campo e o acondicionamento e o envio das amostras ao laboratório de análises foliares.

3.3 Análises dos dados

Foi calculado o acúmulo de cada nutriente na planta toda e em cada parte da planta, determinando-se a relação entre o teor do nutriente e a matéria seca total de cada parte da planta. Esse cálculo foi realizado de acordo com a expressão abaixo:

$$\text{Acúmulo de nutriente (gramas)} = \frac{MS(g) \times \text{teor do nutriente (\%)}}{100}$$

O resultado obtido para o acúmulo de cada nutriente na planta toda e em cada uma de suas partes foi transformado para kg ha^{-1} considerando o estande de 60.000 plantas ha^{-1} . Os resultados foram submetidos à análise de variância e, para as diferenças significativas identificadas pelo teste F ($P < 0,05$), foram feitas análises de regressão, com o auxílio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000). Consideraram-se os acúmulos de nutrientes e de matéria seca como as variáveis dependentes e as épocas de coleta das plantas, considerando os estádios fenológicos da cultura, a variável independente. Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes

Os resumos das análises de variância para matéria seca e para os macronutrientes estão apresentados na Tabela 7. Para o fósforo, potássio e cálcio foram observados efeitos significativos ($P < 0,01$) somente para estádios fenológicos (EF). Para matéria seca e enxofre, foi observado efeito significativo ($P < 0,01$) para cultivares (C), estádios fenológicos (EF) e para a interação C x EF. Para nitrogênio e magnésio, observou-se efeito significativo para estádios fenológicos (EF) e para a interação C x EF. Os resumos das análises de variância considerando a significância dos efeitos da regressão para os acúmulos de matéria seca e de nutrientes das cultivares, em função dos estádios fenológicos da cultura, estão apresentados na Tabela 1A do Anexo.

Neste trabalho, não foram realizadas análises estatísticas para os teores de macronutrientes na matéria seca, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho. Contudo, os valores percentuais dos macronutrientes, em função dos estádios fenológicos da cultura, são apresentados na Tabela 3A e representados graficamente nas Figuras 1A e 2A do Anexo.

A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) teve valores altos para os acúmulos de potássio e de fósforo (Tabela 7). Isso, provavelmente, se deve à obtenção de valores dos acúmulos desses nutrientes próximos a zero nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas e, também, no caso do K, à ocorrência de dois picos de acumulação durante o ciclo da cultura. Entretanto, esses valores podem ser considerados muito consistentes, estando próximo aos observados por Andrade et al. (1975).

O acúmulo de matéria seca, tanto para o híbrido GNZ2004 como para o híbrido P30F33, teve comportamento linear durante todo o ciclo da cultura. Para cada dia após a emergência, o acúmulo de matéria seca na plantas de milho

aumentou 2.97,41 kg ha⁻¹, para o híbrido GNZ2004 e 260,33 kg ha⁻¹, para o híbrido P30F33. As equações de regressão para os híbridos GNZ2004 e P30F33 explicam, respectivamente, 94% e 96% da variação total dos dados (Figura 2). Os resultados obtidos evidenciam a maior capacidade de acúmulo de matéria seca do híbrido GNZ2004 comparado ao híbrido P30F33. A linearidade de acúmulo de matéria seca por cultivares de milho também foi observada por Hanway (1962), Sayre (1948) e Vasconcellos et al. (1983).

TABELA 7. Resumos das análises de variância para os acúmulos de matéria seca (MS), nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em kg ha⁻¹, na parte aérea, considerando dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	MS	N	K	P	S	Ca	Mg
Blocos	3	1234793 ^{NS}	382 ^{NS}	15036 ^{NS}	142 ^{NS}	0,799 ^{NS}	49,8 ^{NS}	6,01 ^{NS}
Cultivares (C)	1	31977213**	731 ^{NS}	24823 ^{NS}	18 ^{NS}	9,81**	43,60 ^{NS}	76,48 ^{NS}
Est. Fen. (EF)	10	993528863**	105462**	90609**	6216**	615,46**	3429,20**	1721,30**
C x EF	10	7665093**	2439**	16573 ^{NS}	135 ^{NS}	60,40**	58,49 ^{NS}	55,46*
Resíduo	63	1610491	641	11353	100	4,57	69,21	21,26
CV(%)		8,85	12,96	57,22	31,45	15,87	23,88	23,31

** (P≤0,01); * (P≤0,05); ^{NS} não significativos.

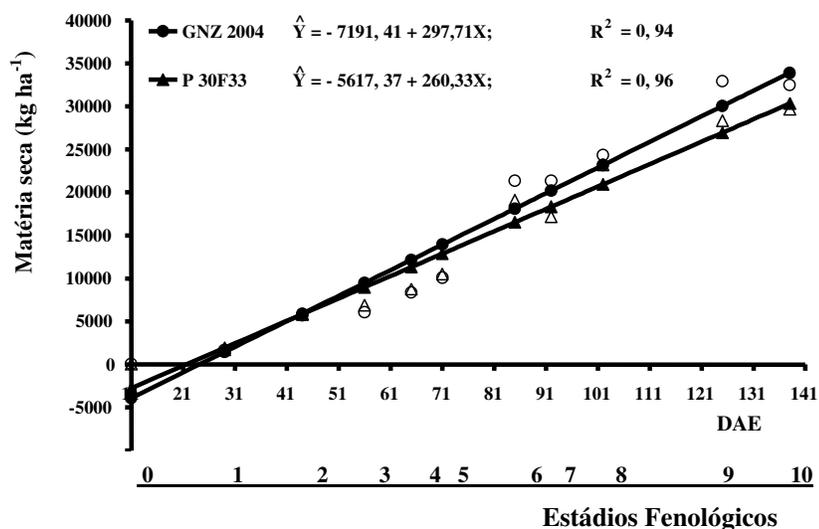


FIGURA 2. Acumulação total de matéria seca, em kg ha⁻¹, de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Os valores máximos de matéria seca acumulada foram obtidos próximo à maturidade fisiológica, ou seja, de 32,9 t ha⁻¹ para o GNZ2004 e 29,6 t ha⁻¹ para o P30F33. Os valores totais de matéria seca acumulada pelas cultivares de milho utilizadas neste trabalho foram significativamente maiores que os observados em trabalhos semelhantes realizados anteriormente, conforme pode ser observado na Tabela 8, apesar de as adubações (doses) e as cultivares utilizadas serem diferentes. Isto, provavelmente, se deve ao fato de as cultivares GNZ2004 e P30F33 serem mais precoces e de menor altura, o que permite o uso de maiores populações de plantas por hectare, além de possuírem maior capacidade de produção de grãos, característica que tem participação significativa na constituição da matéria seca total da planta, dentre outras coisas.

TABELA 8. Rendimentos de grãos e de matéria seca, em t ha⁻¹, e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de cultivares de milho, em kg ha⁻¹. Valores médios adaptados de outros trabalhos conduzidos no Brasil.

Autor (es)	Grãos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	t há ⁻¹							
Borges (2006) ⁽¹⁾	13,5-14,6	32,9-29,6	401-327	92-76	312-316	61-60	47-37	30-24
Bull (1993)	9,1	-	190	39	196	40	44	21
Hiroce et al. (1989) ⁽²⁾	4,9	13,5	135,73	22,54	86,24	20,58	22,54	12,74
Vasconcellos et al. (1983) ⁽³⁾	5,1	9,9-14,3	77-129	15-24	34-53	19-24	11-16	-
Furlani et al. (1977) ⁽⁴⁾	6,8	-	111,52	14,58	127,16	37,4	14,96	57,8
Andrade et al. (1975) ⁽⁵⁾	6,2	16,3	181,04	31	218,24	34,72	35,96	32,24

⁽¹⁾ Resultados obtidos neste trabalho considerando respectivamente os híbridos GNZ2004 e P30F33, em condições de campo, população de 60000 pl ha⁻¹, Lavras, MG, 2006.

⁽²⁾ Média de quatro híbridos comerciais e seis populações, população de 50000 pl ha⁻¹, Campinas – SP.

⁽³⁾ Média respectivas das cultivares BR126 e BR105, com e sem irrigação, população de 50000 pl ha⁻¹, Sete Lagoas – MG.

⁽⁴⁾ Média das cultivares HS1227 e HS7777, população de 50000 pl ha⁻¹, Campinas – SP.

⁽⁵⁾ Média de cinco cultivares, população de 50000 pl ha⁻¹, Piracicaba – SP.

A acumulação total de matéria seca obtida pelas cultivares GNZ2004 e P30F33 foi lenta nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Posteriormente, houve incremento na acumulação de matéria seca, que foi ainda maior após os 71 dias após a emergência (final do florescimento) (Tabela 9).

O híbrido GNZ2004, no período compreendido entre o início do enchimento de grãos e a maturidade fisiológica, apresentou maior acúmulo de matéria seca que o híbrido P30F33 (Tabela 9) evidenciando maior capacidade deste híbrido em acumular matéria seca nas partes reprodutivas da planta. Isto pode, em parte, ser explicado pelo maior porte e pela maior prolificidade manifestada pelo híbrido GNZ2004 (1,25 espigas planta⁻¹) em relação ao híbrido P30F33 (1,11 espigas planta⁻¹). Os dois híbridos tiveram alta produção de matéria seca no estádio 8 (102 dias após a emergência), ponto de corte da cultura

do milho para silagem, com valores superiores a 23 toneladas de matéria seca por hectare.

TABELA 9. Valores médios do acúmulo de matéria seca, em kg ha⁻¹, de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	72 a	68 a	70
29	1	1666 a	1698 a	1682
44	2	5712 a	5850 a	5781
56	3	6050 a	6875 a	6462
65	4	8375 a	8750 a	8562
71	5	10072 a	10506 a	10289
85	6	21350 a	19087 b	20218
92	7	21352 a	17168 b	19260
102	8	24340 a	23170 a	23755
125	9	32937 a	28325 b	30631
138	10	32493 a	29662 b	31078

Médias seguidas de letra distintas na linha diferem entre si, pelo teste de “F” (P≤0,05).

* Classificação segundo Fancelli (1986).

Os totais de macronutrientes acumulados pelas cultivares de milho foram significativamente superiores aos observados em outros trabalhos conduzidos com esta finalidade (Tabela 8).

As acumulações totais dos macronutrientes na parte aérea das cultivares GNZ2004 e P30F33, respectivamente, seguiram a seguinte ordem decrescente de valores médios: N (401 e 327 kg ha⁻¹), K (312 e 316 kg ha⁻¹), P (92 e 76 kg ha⁻¹), Ca (61 e 60 kg ha⁻¹), Mg (47 e 37 kg ha⁻¹), S (30 e 24 kg ha⁻¹). Essa mesma seqüência decrescente de acúmulo total de macronutrientes também foi

observada por Vasconcellos et al. (1983). Todavia, Andrade et al. (1975) observaram que o acúmulo de Mg foi maior que os acúmulos de P e Ca.

Na Tabela 10 estão apresentadas as quantidade totais de macronutrientes e de micronutrientes, expressas em kg ha⁻¹, necessárias para produção de uma tonelada de grãos considerando os dois híbridos utilizados.

TABELA 10. Quantidade de nutrientes, expressos na forma elementar, em quilos, necessária para produção de uma tonelada de grãos e uma tonelada de matéria seca, considerando dois híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Cultivar		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
		kg ton ⁻¹ de grãos e matéria seca produzida*									
GNZ2004	Grãos	27,7	5,8	23,2	3,9	3,5	1,9	0,009	0,020	0,046	0,194
	MS	11,4	2,4	9,5	1,6	1,4	0,8	0,004	0,008	0,019	0,080
P30F33	Grãos	22,3	5,3	21,3	3,6	2,4	1,3	0,009	0,019	0,042	0,100
	MS	12,6	2,6	10,6	1,8	1,6	0,90	0,004	0,009	0,021	0,090

*Produtividade de grãos (13% umidade) e de matéria seca obtidas: GNZ2004 = 13503,75 kg ha⁻¹ de grãos e 32937,5 kg ha⁻¹ de MS; P30F33 = 14669,54 kg ha⁻¹ e 29662,5 kg ha⁻¹ de MS.

Observa-se que o híbrido GNZ2004 exporta maiores quantidades de nutrientes por tonelada de grãos produzidos, apesar de ter obtido menor produção. Isso evidencia que esse híbrido tem maior exigência quanto à disponibilidade de nutrientes para a produção de grãos, comparado ao híbrido P30F33. Entretanto, o híbrido GNZ2004, que foi superior ao híbrido P30F33

quanto à produção de matéria seca, exportou menores quantidades de nutrientes por tonelada de matéria seca produzida (Tabela 10).

Foi observado um comportamento linear no acúmulo de nitrogênio durante todo o ciclo da cultura, não tendo sido constatadas diferenças significativas entre os híbridos avaliados. Para cada dia após a emergência, o acúmulo de N na matéria seca aumentou 3,16 kg ha⁻¹ para o híbrido GNZ2004 e 2,62 kg ha⁻¹ para o híbrido P30F33. As equações de regressão para ambas as cultivares explicam 95% da variação total dos dados (Figura 3). Com base nesses resultados, fica evidente que, nos estádios finais do ciclo da cultura, o híbrido GNZ2004 é mais exigente em nitrogênio do que o híbrido P30F33

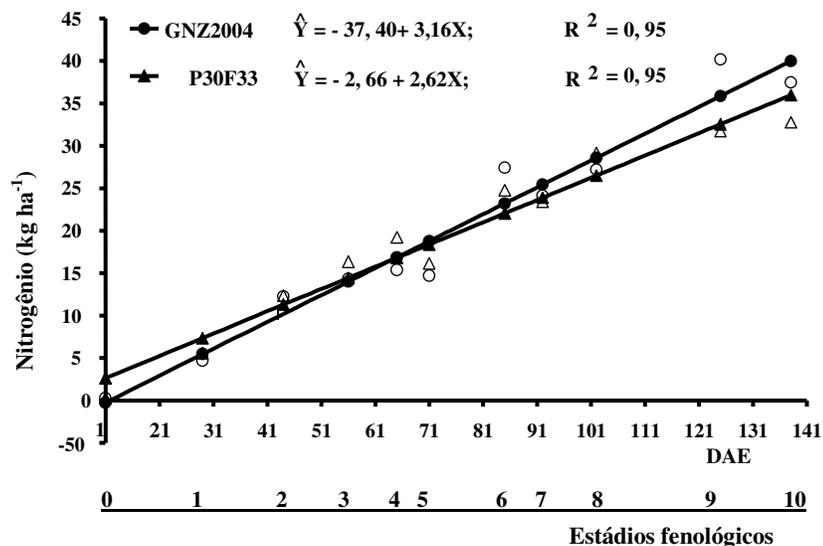


FIGURA 3. Acumulação total de nitrogênio, em kg ha⁻¹, de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Os híbridos tiveram pequena acumulação de N nos estádios iniciais (2,74 kg ha⁻¹ aos 11 dias após a emergência) com um incremento significativo ocorrendo aos 44 dias e um acúmulo crescente e linear até os estádios finais de desenvolvimento, quando foram obtidos os valores máximos, 374,6 kg ha⁻¹ para o GNZ2004 e 327,6 kg ha⁻¹ para o P30F33 (Tabela 11). Esses valores são maiores aos 210 kg ha⁻¹ de N fornecidos via adubações de plantio e de cobertura. Vasconcellos et al. (1998) e Hiroce (1989) também verificaram extrações de N em quantidades maiores do que a aplicada na forma de fertilizantes, o que sugere a adoção de estratégias de manejo da fertilização da cultura do milho que possibilitem a manutenção da biomassa microbológica e de uma mineralização adequada.

O pequeno acúmulo inicial de N, sucedido por uma acumulação crescente e linear até um ponto de máximo, também foi observado por Arnon (1975), Andrade et al. (1975) e por Vasconcellos et al. (1983, em condições de cultivo sem irrigação suplementar. Entretanto, esses autores observaram o ponto de máximo acúmulo de N em época anterior aos estádios finais do ciclo, ou seja, entre o início do florescimento e o início da formação dos grãos, em torno de 80 dias após a emergência e aos 115 dias, respectivamente.

Vasconcellos et al. (1983), em condições de cultivo com irrigação suplementar, observaram o máximo acúmulo de N próximo ao final do ciclo da cultura do milho, assim como observado neste trabalho.

Além de um maior período de acumulação de nitrogênio observado para os híbridos GNZ2004 e P30F33, os valores máximos de N acumulado foram muito superiores aos observados por Andrade et al. (1975) e Vasconcellos et al. (1983), de 174 kg ha⁻¹ e 129 kg ha⁻¹, respectivamente.

Até os 102 dias após a emergência, os dois híbridos acumularam quantidades semelhantes de N. Nos estádios finais do ciclo, o híbrido GNZ2004 obteve valores superiores ao híbrido P30F33, evidenciando sua maior exigência

em N neste período para a produção de grãos (Tabela 11). Segundo Vasconcellos (1998), essas diferenças entre cultivares tanto podem estar associadas às diferenças inerentes à absorção como às associações biológicas com organismos fixadores de N, tanto de vida livre como de simbiótica. Contudo, ambas as cultivares tiveram uma elevação significativa no acúmulo de N nos estádios finais do ciclo da cultura.

TABELA 11. Valores médios da acumulação de nitrogênio, em kg ha⁻¹, obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

DAE	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	2,92 a	2,57 a	2,74
29	1	47,04 a	55,52 a	51,28
44	2	122,42 a	123,65 a	123,04
56	3	143,14 a	163,49 a	153,31
65	4	153,95 b	192,00 a	172,98
71	5	147,16 a	161,54 a	154,35
85	6	274,19 a	247,55 a	260,87
92	7	241,52 a	234,05 a	237,79
102	8	271,98 a	291,55 a	281,77
125	9	401,57 a	317,50 b	359,54
138	10	374,64 a	327,68 b	351,16

Médias seguidas de letra distintas na linha diferem entre si, pelo teste de “F” (P≤0,05)

* Classificação segundo Fancelli (1986).

As cultivares GNZ2004 e P30F33 apresentaram comportamento semelhante quanto ao acúmulo de fósforo durante o ciclo da cultura. Assim como para a matéria seca e para o nitrogênio, o acúmulo de fósforo pelas

cultivares de milho apresentou comportamento linear, durante o ciclo da cultura. Para cada dia após a emergência, o acúmulo de fósforo aumentou $0,67 \text{ kg ha}^{-1}$; a equação de regressão explica 90% da variação total dos dados (Figura 4). Esse comportamento foi semelhante para as duas cultivares, tendo o máximo acúmulo de fósforo ocorrido próximo à maturidade fisiológica, obtendo-se, em média, $83,22 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 12). Entretanto, assim como para o nitrogênio, houve aumento significativo nos totais de P acumulado nos estádios finais, principalmente a partir dos 125 dias após a emergência.

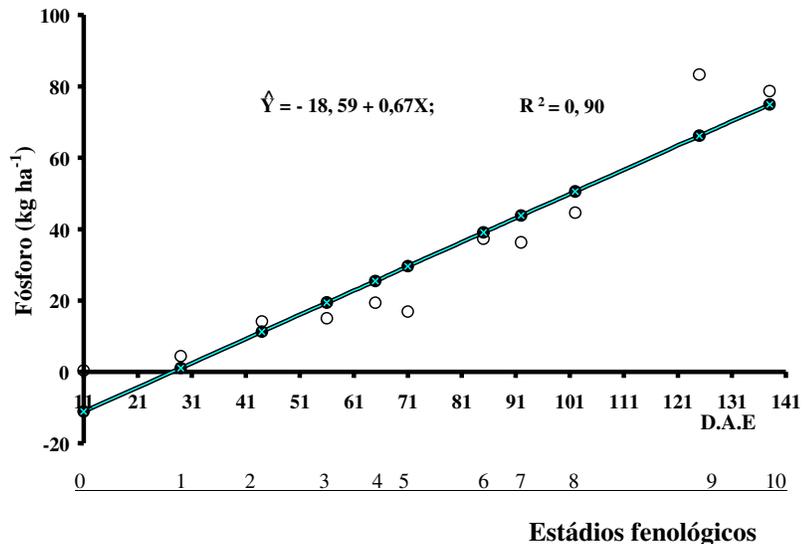


FIGURA 4. Acumulação total de fósforo, em kg ha^{-1} , considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

O acúmulo de P nos estádios iniciais foi muito pequeno ($4,33 \text{ kg ha}^{-1}$ nos primeiros 29 dias após a emergência), incrementando-se a partir dos 44 dias,

sendo crescente e linear até os estádios finais de desenvolvimento da cultura (Tabela 12 e Figura 4).

O lento acúmulo inicial de P, sucedido por um período de acumulação crescente e linear até um ponto de máximo, também foi observado por Andrade et al. (1975) e por Vasconcellos et al. (1983). Entretanto, o máximo acúmulo observado por Andrade et al. (1975) e por Vasconcellos et al. (1983), quando trabalharam com a cultivar BR126 sem irrigação suplementar, ocorreu em período anterior ao observado neste trabalho, 80 a 100 dias e próximo aos 120 dias, respectivamente.

Já Vasconcellos et al. (1983), quando utilizaram a cultivar BR105 com e sem irrigação suplementar e com a cultivar BR126 com irrigação suplementar, observaram a ocorrência do máximo acúmulo de P no final do ciclo da cultura, o que corrobora com os resultados obtidos neste trabalho.

Contudo, em média, os valores máximos de P acumulado pelas cultivares avaliadas neste trabalho ($83,22 \text{ kg ha}^{-1}$) foram superiores aos obtidos em trabalhos realizados anteriormente, ou seja, 30 kg ha^{-1} , por Andrade et al. (1975) e 24 kg ha^{-1} , por Vasconcellos et al. (1983). Isso está relacionado à maior produção de grãos obtida com os híbridos GNZ2004 e P30F33, comparado à obtida por esses autores, uma vez que o P é acumulado em grande proporção nos grãos de milho. Entretanto, deve-se considerar que as adubações utilizadas nesses trabalhos foram diferentes.

Karlen et al. (1987) obtiveram o máximo de fósforo acumulado de 44 kg ha^{-1} , com produtividade média de 12 t ha^{-1} de grãos e de 24 t ha^{-1} de matéria seca na parte aérea. Esses rendimentos estão próximos dos obtidos neste trabalho, que foram de 14 t ha^{-1} de grãos e 30 t ha^{-1} de matéria seca. Isso permite inferir que, para a obtenção de altas produções de grãos e MS nas condições tropicais brasileiras, as plantas de milho acumulam maiores quantidades de P, em comparação aos cultivos realizados em regiões temperadas.

TABELA 12. Valores médios de acumulação de fósforo, em kg ha⁻¹, obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	0,38	0,35	0,36
29	1	4,14	4,53	4,33
44	2	13,99	14,26	14,12
56	3	13,09	16,80	14,94
65	4	15,90	22,74	19,32
71	5	14,78	18,98	16,88
85	6	38,26	36,37	37,32
92	7	33,57	38,79	36,18
102	8	37,48	51,70	44,59
125	9	92,74	73,69	83,22
138	10	80,55	76,77	78,66

* Classificação segundo Fancelli (1986).

O acúmulo de potássio pelas cultivares de milho teve comportamento quadrático durante o ciclo da cultura. O ponto de máximo acúmulo de K, obtido em função da primeira derivada da equação de regressão, ocorreu no final do ciclo da cultura (Figura 5). O acúmulo máximo de potássio pelas plantas de milho, estimado por meio da equação de regressão, foi de 309,27 kg ha⁻¹. Essa equação explica 79% da variação total dos dados. A acumulação de potássio nas plantas teve um primeiro pico de absorção na ocasião do florescimento e um segundo pico de absorção na maturidade fisiológica, quando se observou o máximo acúmulo desse nutriente na planta de milho.

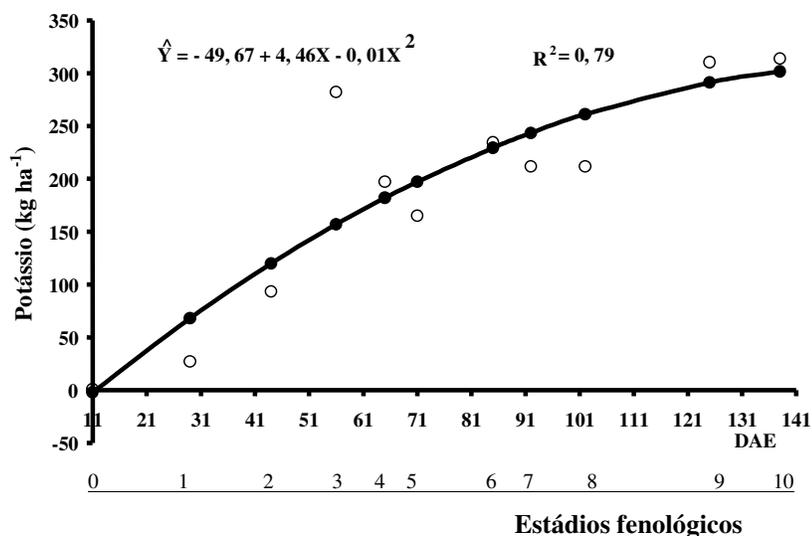


FIGURA 5. Acúmulo total de potássio, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência - DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Os totais de K acumulados foram pequenos nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (1,12 kg ha⁻¹, aos 11 dias após a emergência), com incremento significativo a partir dos 56 dias, quando ficou evidenciado um primeiro pico de absorção de potássio, 282,08 kg ha⁻¹ (Tabela 13). Após esse primeiro pico de absorção, houve perdas de potássio dos tecidos vegetais, fato este também observado por Andrade et al. (1975), Sayre (1948) e Tukey Junior (1970).

Os valores máximos de potássio acumulado observados foram superiores a 310 kg ha⁻¹, ocorrendo próximo à maturidade fisiológica, ficando caracterizado um segundo pico de absorção de K pelas plantas de milho, que ocorreu após um período de perdas. Esses valores máximos de K acumulado

foram superiores aos obtidos por Andrade et al. (1975), Karlen et al. (1987) e Vasconcellos et al. (1983), que foram de 218 kg ha⁻¹, 224 kg ha⁻¹ e 70 kg ha⁻¹, respectivamente. Isso em muito se deve à maior capacidade de produção das cultivares GNZ2004 e P30F33, que foram desenvolvidas mais recentemente, já que o K é o segundo elemento absorvido em maior quantidade pelas plantas de milho e tem relação direta com a produção de MS e grãos de milho (Overman et al., 1995).

Similarmente ao ocorrido com o N, nos estádios finais do ciclo das plantas foram observadas elevações significativas no acúmulo de K pelas cultivares, evidenciando ser este um período de maior exigência das cultivares de milho em relação ao N e ao K.

A época de ocorrência do máximo acúmulo de potássio observado por Andrade et al. (1975), Karlen et al. (1987), Mullins & Burmester (1996) e Vasconcellos et al. (1983) foram, respectivamente, em torno dos 60 dias, no início da formação dos grãos, em torno dos 90 dias e em torno dos 95 dias. O primeiro pico de acumulação de K observado neste trabalho, que foi aos 56 dias, ocorreu anteriormente à época de máximo acúmulo de N e de P. Entretanto, os híbridos GNZ2004 e P30F33, apesar de um período de perdas de K pelas plantas após os 56 dias, retomaram a acumulação de potássio, que foi crescente até a maturidade fisiológica (Tabela 13). Vale ressaltar que as cultivares acumularam quantidades semelhantes de K.

TABELA 13. Valores médios de acumulação de potássio, em kg ha^{-1} , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	1,14	1,10	1,12
29	1	27,20	27,24	27,22
44	2	91,11	95,70	93,40
56	3	153,75	410,41	282,08
65	4	166,23	228,50	197,36
71	5	166,68	163,64	165,16
85	6	286,92	182,09	234,50
92	7	192,06	231,38	211,72
102	8	154,89	268,48	211,68
125	9	312,87	308,07	310,47
138	10	310,94	316,68	313,81

* Classificação segundo Fancelli (1986).

O acúmulo de cálcio teve comportamento quadrático durante o ciclo da cultura (Figura 6). O ponto de máximo acúmulo de Ca, obtido em função da primeira derivada da equação de regressão, ocorreu no final do ciclo da cultura (Figura 6). O acúmulo máximo de cálcio nas plantas de milho, estimado por meio da equação de regressão, foi de $61,52 \text{ kg ha}^{-1}$. Essa equação explica 92% da variação total dos dados. A acumulação de cálcio pelas plantas teve um primeiro pico de absorção na ocasião do florescimento e um segundo pico de absorção na maturidade fisiológica, quando se observou o máximo acúmulo.

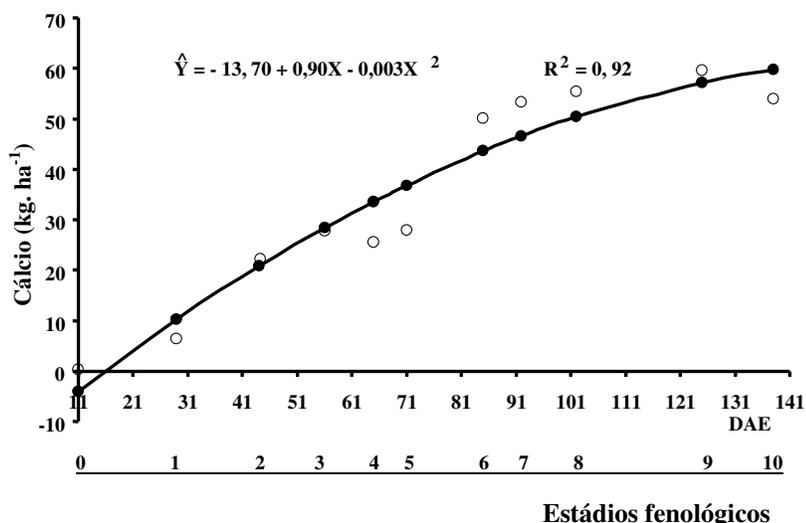


FIGURA 6. Acumulação total de cálcio, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

As cultivares acumularam quantidades semelhantes de Ca. Os valores acumulados nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas foram pequenos (0,31 kg ha⁻¹ aos 11 dias após a emergência), observando-se um primeiro incremento aos 44 dias após a emergência, mantendo-se em patamar praticamente constante até os 71 dias (final do florescimento). Aos 85 dias, foi observado um segundo incremento no acúmulo de cálcio, mantendo-se neste patamar quase que constante até os estádios finais do ciclo da cultura (Tabela 14). O máximo acúmulo de cálcio ocorreu próximo ao final do ciclo, aos 125 dias após a emergência, com um total de 60 kg ha⁻¹. Posteriormente, ocorreu uma pequena redução neste valor até a maturidade fisiológica. Esta perda de cálcio, provavelmente, se deve a lixiviação, queda das folhas basais e, talvez,

perdas pelas raízes, com sugerido por Andrade et al. (1975), como também à imobilidade desse nutriente na planta.

A pequena acumulação de cálcio nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, seguida de um crescente acréscimo até um ponto de máximo e posterior redução dos valores acumulados no final do ciclo, também foi observada por Andrade et al. (1975), Loué (1963) e Vasconcellos et al. (1983).

Andrade et al. (1975) e Vasconcellos et al. (1983) observaram valores máximos de acúmulo de Ca inferiores aos encontrados neste trabalho ($32,1 \text{ kg ha}^{-1}$) e entre $19,3$ e 26 kg ha^{-1} , respectivamente. Loué (1963) encontrou os valores máximos de cálcio acumulado superiores a 40 kg ha^{-1} , valores esses também inferiores aos obtidos com os híbridos GNZ2004 e P30F33.

Quanto à época em que ocorreram os valores máximos de Ca acumulado nas plantas de milho, Andrade et al. (1975) a obtiveram mais precocemente, ou seja, entre 75 e 94 dias. Entretanto, os valores máximos de cálcio acumulado, obtidos neste trabalho, ocorreram em época semelhante à obtida no trabalho realizado por Vasconcellos et al. (1983), que foi entre 110 e 136 dias.

As curvas de acúmulo de cálcio e de potássio em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência) foram praticamente paralelas, evidenciando a semelhança da acumulação desses nutrientes pela planta de milho. Contudo, apesar da concentração de cálcio na solução do solo ser cerca de 10 vezes maior que a de potássio, o Ca é, usualmente, absorvido em menor quantidade que o K pelo fato de o cálcio poder ser absorvido unicamente pelas extremidades de raízes jovens, nas quais as paredes celulares da endoderme não estão ainda suberificadas (Mengel & Kirkby, 1987).

TABELA 14. Valores médios de acumulação de cálcio, em kg ha^{-1} , obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	0,35	0,28	0,31
29	1	6,56	6,27	6,41
44	2	23,65	22,94	23,29
56	3	29,68	25,70	27,69
65	4	24,90	26,22	25,56
71	5	29,45	26,22	27,83
85	6	56,17	44,13	50,15
92	7	53,05	53,45	53,25
102	8	50,07	60,63	55,35
125	9	61,77	57,26	59,51
138	10	55,39	52,45	53,92

* Classificação segundo Fancelli (1986).

O acúmulo de magnésio nas cultivares apresentou comportamento linear durante o ciclo da cultura. Para cada dia após a emergência, o acúmulo de Mg na matéria seca aumentou $0,39 \text{ kg ha}^{-1}$, para o híbrido GNZ2004 e $0,32 \text{ kg ha}^{-1}$, para o híbrido P30F33. As equações de regressão explicam, respectivamente, 88% e 92% da variação total dos dados (Figura 7). Os resultados obtidos permitem inferir que, nos estádios finais do ciclo da cultura, o híbrido GNZ2004 acumula maiores quantidades de magnésio do que a cultivar P30F33.

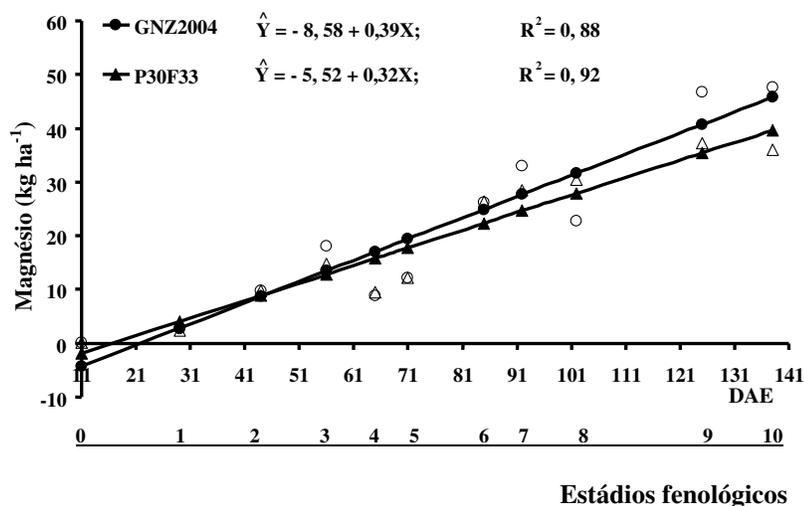


FIGURA 7. Acumulação total de magnésio, em kg ha^{-1} , em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

As quantidades totais de magnésio acumulado nos estádios iniciais foram pequenas ($0,11 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 11 dias após a emergência) e ocorreu um pequeno incremento dos 44 dias após a emergência até o final do florescimento, ocorrido aos 71 dias (Tabela 15). A partir dos 85 dias após a emergência, houve um incremento significativo no acúmulo de magnésio, que cresceu de maneira linear até o final do ciclo, para os dois híbridos analisados.

As cultivares obtiveram acumulação de Mg semelhante durante a maior parte do ciclo, entretanto, nos estádios finais do ciclo, mais especificamente a partir dos 125 dias, o híbrido GNZ2004 acumulou maior quantidade de Mg que o P30F33, evidenciando maior exigência desta cultivar em Mg (Tabela 15).

TABELA 15. Valores médios de acumulação de magnésio, em kg ha⁻¹, obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	0,13 a	0,10 a	0,11
29	1	2,63 a	2,42 a	2,52
44	2	9,79 a	9,72 a	9,76
56	3	18,10 a	14,67 a	16,39
65	4	8,84 a	9,51 a	9,17
71	5	12,22 a	12,23 a	12,22
85	6	26,15 a	26,42 a	26,28
92	7	32,93 a	28,54 a	30,73
102	8	22,74 b	30,47 a	26,60
125	9	46,71 a	37,18 b	41,94
138	10	47,59 a	36,04 b	41,81

Médias seguidas de letra distintas na linha diferem entre si, pelo teste de "F" (P≤0,05).

* Classificação segundo Fancelli (1986).

O máximo acúmulo de Mg ocorreu no final do ciclo da cultura, com valores superiores a 46 kg ha⁻¹, para o GNZ2004 e a 37 kg ha⁻¹, para o P30F33. Esses valores são superiores aos obtidos por Vasconcellos et al. (1983), que obtiveram entre 11 kg ha⁻¹ e 16 kg ha⁻¹ e semelhantes aos obtidos por Andrade et al. (1975), que obtiveram 38 kg ha⁻¹. Todavia, é importante ressaltar que Andrade et al. (1975) trabalharam com cultivares de ciclo mais tardio e observaram a ocorrência dos valores médios máximos de magnésio acumulado

aos 100-120 dias, ou seja, um pouco mais precocemente que o obtido neste trabalho. Com isto, observa-se que as cultivares lançadas mais recentemente acumulam Mg por um período maior e em um ciclo mais curto, evidenciando maior eficiência na acumulação desse nutriente nas partes aéreas das plantas de milho.

Vasconcellos et al. (1983), trabalhando com duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar, obtiveram equações de primeiro, segundo e terceiro grau para explicar o comportamento das cultivares quanto ao acúmulo de Mg, em função da idade da planta. Contudo, em seu trabalho, ficou evidente a ocorrência do máximo acúmulo nos estádios finais do ciclo da planta, notadamente por volta dos 110 dias, para o experimento com irrigação e no final do ciclo, para o experimento com irrigação, assim como observado neste trabalho.

Foram observadas diferenças significativas entre os híbridos GNZ2004 e P30F33, quanto à acumulação de enxofre. Em ambas as cultivares, a acumulação de enxofre teve comportamento linear durante o ciclo da cultura (Figura 8). Para cada dia após a emergência, o acúmulo de enxofre aumentou $0,23 \text{ kg ha}^{-1}$, para o híbrido GNZ2004 e $0,18 \text{ kg ha}^{-1}$ para a cultivar P30F33. As equações de regressão explicam, respectivamente, 78% e 84% da variação total dos dados (Figura 8). Com os resultados obtidos, fica evidenciado que o híbrido GNZ2004 acumula, durante o ciclo da cultura, maiores quantidades de enxofre do que a cultivar P30F33. A superioridade da cultivar GNZ2004 quanto à acumulação de enxofre, comparada à cultivar P30F33, se deve à maior quantidade desse nutriente acumulada no período compreendido entre o início do enchimento de grãos e a maturidade fisiológica.

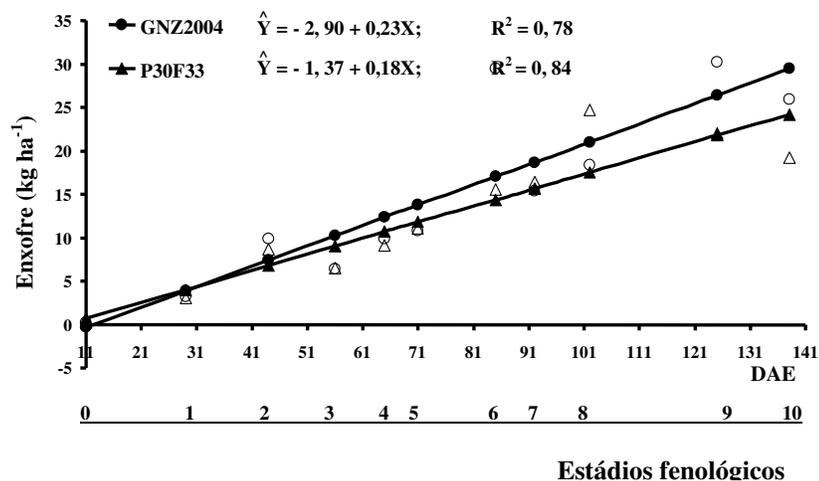


FIGURA 8. Acumulação total de enxofre, em kg ha^{-1} , em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

O acúmulo de S cresceu de forma modesta até o final do florescimento (71 dias), tendo, aos 85 dias, ocorrido um incremento significativo no total acumulado para um patamar superior a 22 kg ha^{-1} , o que praticamente se manteve até o final do ciclo (Tabela 16). O máximo acúmulo de enxofre ocorreu pouco antes do final do ciclo para os dois híbridos, aos 125 dias, com valores superiores a 30 kg ha^{-1} , para o híbrido GNZ2004 e superiores a 22 kg ha^{-1} , para a cultivar P30F33, com uma redução nos totais de S acumulado até a maturidade fisiológica, o que foi também observado para o Ca.

Andrade et al. (1975) observaram que o máximo acúmulo de enxofre foi observado aos 93-95 dias, o que ocorreu mais precocemente que o observado neste trabalho para os híbridos GNZ2004 e P30F33. Entretanto, os valores máximos obtidos em ambos os trabalhos foram semelhantes, permitindo inferir

que as maiores produções de grãos e de MS obtidas com cultivares de milho desenvolvidas recentemente não estão necessariamente relacionadas à maior absorção de enxofre pelas plantas.

TABELA 16. Valores médios de acumulação de enxofre, em kg ha⁻¹, obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Cultivares		Médias
		GNZ 2004	P 30F33	
11	0	0,22 a	0,21 a	0,21
29	1	3,19 a	3,01 a	3,10
44	2	9,87 a	8,63 a	9,25
56	3	6,44 a	6,45 a	6,45
65	4	9,86 a	9,16 a	9,51
71	5	10,79 a	11,11 a	10,95
85	6	29,50 a	15,53 b	22,51
92	7	15,40 a	16,38 a	15,89
102	8	18,38 b	24,74 a	21,56
125	9	30,26 a	22,03 b	26,14
138	10	25,97 a	19,22 b	22,59

Médias seguidas de letra distintas na linha diferem entre si, pelo teste de “F” (P≤0,05).

* Classificação segundo Fancelli (1986).

De maneira geral, após o período compreendido entre o início da formação dos grãos e a maturidade, as quantidades médias de enxofre acumulado pelas cultivares GNZ2004 e P30F33 variaram pouco, evidenciando ser anterior a esse período a época mais crítica de fornecimento de S às plantas.

A cultivar GNZ2004 obteve maiores valores de S acumulado durante o ciclo da cultura que a cultivar P30F33 (Tabela 16). Isso ocorreu, principalmente, devido aos maiores valores de S acumulados pela cultivar GNZ2004 nos estádios finais do ciclo, o que evidencia, assim como para N, P e Mg, a maior exigência dessa cultivar por enxofre.

4.2 Acúmulo de micronutrientes

Os resumos das análises de variância, considerando os micronutrientes, estão apresentados na Tabela 17. Para o boro e zinco foi observado efeito significativo ($P < 0,01$) para cultivares (C), estádios fenológicos (EF) e para a interação C x EF. Para o cobre, observou-se efeito significativo ($P < 0,01$) para estádios fenológicos (EF) e para a interação C x EF. Para o manganês, constatou-se efeito significativo para estádios fenológicos (EF) e para cultivares (C).

Os resumos das análises de variância, considerando a significância dos efeitos da regressão para os acúmulos de micronutrientes, na parte aérea das cultivares de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura, estão apresentados na Tabela 2A.

Neste trabalho, não foram realizadas análises estatísticas para os teores de micronutrientes na matéria seca, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho. Contudo, os valores percentuais de cada micronutriente avaliado, em função dos estádios fenológicos da cultura, são apresentados na Tabela 3 A e representados graficamente na Figura 3A, no Anexo.

A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) teve valores altos para os acúmulos de zinco e boro (Tabela 17). Isso, provavelmente, se deve à obtenção de valores nulos para os acúmulos desses micronutrientes nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas. Entretanto, esses valores

podem ser considerados muito consistentes, estando próximos aos observados por Andrade et al. (1975).

TABELA 17. Resumos das análises de variância para os acúmulos de manganês, zinco, boro e cobre, em kg ha⁻¹, na parte aérea de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	Quadrado médio			
		Manganês	Zinco	Boro	Cobre
Blocos	3	0,00051 ^{NS}	0,0108 ^{NS}	0,00006 ^{NS}	0,00005 ^{NS}
Cultivares (C)	1	0,0328*	0,5239**	0,00570**	0,00050 ^{NS}
Est. Fen. (EF)	10	0,4699**	3,2070**	0,01510**	0,07500**
C x EF	10	0,0144 ^{NS}	0,3136**	0,00200**	0,00050*
Resíduo	63	0,008000	0,073900	0,00040	0,00027
CV(%)		22,08		28,33	14,51

** (P≤0,01); * (P≤0,05); ^{NS} não significativo.

As cultivares GNZ2004 e P30F33 acumularam maiores quantidades de B, Zn, Mn e Cu do que as utilizadas em outros trabalhos (Andrade et al., 1975; Phillips & Lessman, 1972, citados por Gamboa, 1980). Entretanto, os híbridos GNZ2004 e P30F33 diferiram entre si quanto à acumulação desses micronutrientes, o que difere dos resultados obtidos por Brown e Clark (1974), que observaram comportamento idêntico de cultivares de milho quanto à acumulação de micronutrientes.

A acumulação de micronutrientes nas partes aéreas das plantas de milho foi praticamente nula até aos 29 dias após a emergência. O acúmulo máximo foi

obtido sempre após os 100 dias, ou seja, na segunda metade do período de enchimento de grãos (Tabelas 18 e 19).

O acúmulo total dos micronutrientes obtidos pelas cultivares GNZ2004 e P30F33 seguiu a seguinte ordem decrescente de valores: Zn (2,05 kg ha⁻¹), Mn (0,70 kg ha⁻¹), Cu (0,30 kg ha⁻¹) e B (0,13 kg ha⁻¹).

TABELA 18. Valores médios de acumulação de boro e zinco, em kg ha⁻¹, obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Boro			Zinco		
		GNZ2004	P30F33	Médias	GNZ2004	P30F33	Médias
11	0	0,00 a	0,00 a	0,00	0,00 a	0,00 a	0,00
29	1	0,01 a	0,02 a	0,01	0,07 a	0,06 a	0,06
44	2	0,06 a	0,06 a	0,06	0,25 a	0,26 a	0,25
56	3	0,07 a	0,07 a	0,07	0,33 a	0,42 a	0,38
65	4	0,06 a	0,07 a	0,06	0,38 a	0,36 a	0,37
71	5	0,07 a	0,09 a	0,08	0,28 a	0,29 a	0,28
85	6	0,16 a	0,09 b	0,12	0,57 a	0,50 a	0,53
92	7	0,11 a	0,10 a	0,10	0,54 a	0,49 a	0,51
102	8	0,16 a	0,10 b	0,13	0,48 a	0,63 a	0,56
125	9	0,09 a	0,03 b	0,06	1,89 a	1,23 b	1,56
138	10	0,13 a	0,13 a	0,13	2,63 a	1,47 b	2,05

Médias seguidas de letra distintas na linha diferem entre si, pelo teste de "F" (P≤0,05).

* Classificação segundo Fancelli (1986).

TABELA 19. Valores médios de acumulação de manganês e cobre, em kg ha⁻¹, obtidos por dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos cultura (dias a após emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias após a emergência	Estádio fenológico*	Manganês			Cobre		
		GNZ2004	P30F33	Médias	GNZ204	P30F33	Médias
11	0	0,01	0,00	0,00	0,00 a	0,00 a	0,00
29	1	0,08	0,07	0,07	0,01 a	0,01 a	0,01
44	2	0,30	0,25	0,27	0,05 a	0,05 a	0,05
56	3	0,27	0,28	0,28	0,08 a	0,09 a	0,08
65	4	0,30	0,33	0,31	0,10 a	0,11 a	0,11
71	5	0,44	0,33	0,38	0,06 a	0,06 a	0,06
85	6	0,70	0,65	0,67	0,14 a	0,11 b	0,13
92	7	0,47	0,57	0,52	0,12 a	0,11 a	0,11
102	8	0,62	0,63	0,62	0,10 a	0,12 a	0,11
125	9	0,77	0,63	0,70	0,31 a	0,29 a	0,30
138	10	0,74	0,54	0,64	0,30 a	0,27 b	0,28

Médias seguidas de letra distintas na linha diferem entre si, pelo teste de "F" ($P \leq 0,05$).

* Classificação segundo Fancelli (1986).

Foram observadas diferenças significativas entre os híbridos GNZ2004 e P30F33 quanto à acumulação de boro. Em ambas as cultivares, a acumulação apresentou comportamento quadrático durante o ciclo da cultura (Figura 9). O ponto de máximo acúmulo de boro, obtido em função da primeira derivada da equação de regressão, ocorreu aos 135 dias após a emergência, para o híbrido GNZ2004 e aos 120 dias após a emergência para o P30F33 (Figura 9). O acúmulo máximo de boro nas plantas, estimado por meio das equações de

regressão, foi de 0,139 kg ha⁻¹ para o GNZ2004 e de 0,095 kg ha⁻¹ para o P30F33. As equações explicam 72% e 61% da variação total dos dados.

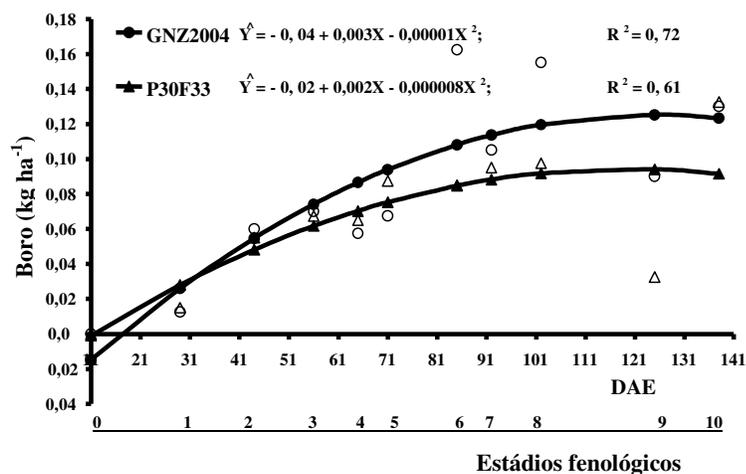


FIGURA 9. Acumulação total de boro, em kg ha⁻¹, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Com os resultados obtidos fica evidenciado que o híbrido GNZ2004 acumula, durante o ciclo da cultura, maiores quantidades de boro do que a cultivar P30F33. A superioridade da cultivar GNZ2004, quanto à acumulação de boro, comparada à cultivar P30F33, se deve à maior quantidade desse nutriente acumulada no período compreendido entre o início do enchimento de grãos e a maturidade fisiológica.

Foram observados, para ambas as cultivares, valores próximos de zero para o boro acumulado nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, com um incremento ocorrendo aos 44 dias após a emergência e estabilizando em um patamar de 0,07 kg ha⁻¹, até o final do florescimento (71 dias); aos 85 dias após a emergência, ocorreu novo incremento na acumulação de B com os totais

acumulados até a maturidade, ficando em torno de $0,13 \text{ kg ha}^{-1}$ para o GNZ2004 e de $0,11 \text{ kg ha}^{-1}$ para o P30F33. Esses resultados evidenciam a superioridade do GNZ2004 quanto à absorção de B neste período do ciclo da cultura (Tabela 18).

Os valores máximos de B acumulado obtidos pelas cultivares de milho foram observados aos 102 dias após a emergência, $0,13 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo superiores aos observados por Andrade et al. (1975) e por Hiroce et al. (1989) que obtiveram $0,071 \text{ kg ha}^{-1}$ e $0,083 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente.

Há escassez de informações, na literatura, sobre os totais de B acumulado em plantas de milho, em função da idade da planta. A maioria das pesquisas é direcionada para respostas a adubações com esse micronutriente. Isto, em parte, se deve às dificuldades na realização de análises laboratoriais para esse micronutriente, o que pode levar a resultados pouco consistentes.

As cultivares GNZ2004 e P30F33 apresentaram diferenças significativas quanto ao acúmulo de zinco. A acumulação de zinco durante o ciclo da cultura em ambas as cultivares teve comportamento quadrático (Figura 10). Este comportamento foi semelhante ao observado por Andrade et al. (1975). Para as duas cultivares, os totais acumulados nos estádios iniciais foram muito pequenos ($0,06 \text{ kg ha}^{-1}$, aos 29 dias após a emergência), com um incremento ocorrendo aos 44 dias, para um valor médio de $0,32 \text{ kg ha}^{-1}$, que se manteve até o final do florescimento (71 dias). Logo após o início do enchimento de grãos, ocorreu outro incremento significativo no acúmulo de Zn, que aumentou linearmente até o final do ciclo (Tabela 18).

Os máximos de Zn acumulado pelas cultivares foram observados na maturidade fisiológica, sendo de $2,63 \text{ kg ha}^{-1}$, para o GNZ2004 e de $1,47 \text{ kg ha}^{-1}$, para o P30F33. Vasconcellos et al. (1983), quando utilizaram a cultivar BR105, também obtiveram o máximo acúmulo de Zn no final do ciclo da cultura. Entretanto, Andrade et al. (1975), utilizando cinco cultivares de milho, observaram o máximo acúmulo de Zn entre 87 e 108 dias, com posterior

declínio nos totais acumulados até a maturidade, com os valores máximos em torno de 0,32 kg ha⁻¹.

Esse declínio nos totais de Zn acumulados também foi observado por Vasconcellos et al. (1983), quando utilizaram a cultivar de milho forrageiro BR126. Contudo, Vasconcellos et al. (1983), independentemente da cultivar avaliada, obtiveram sempre valores totais de Zn acumulado inferiores aos obtidos neste trabalho, ou seja, entre 0,15 kg ha⁻¹ e 0,20 kg ha⁻¹.

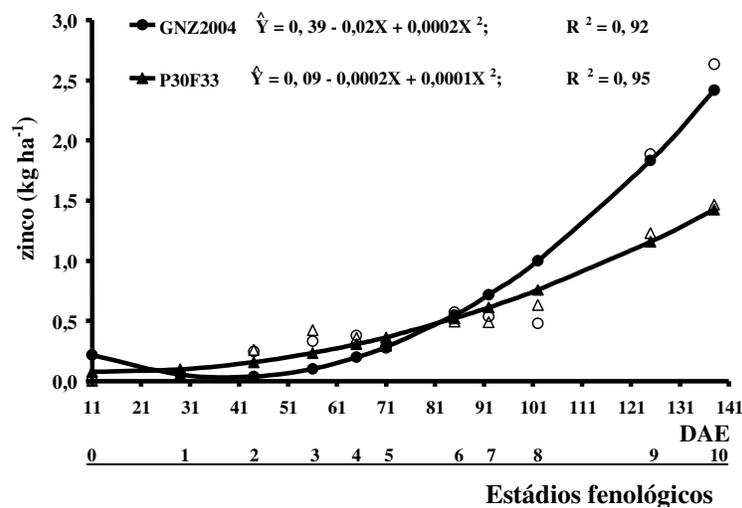


FIGURA 10. Acumulação total de zinco, em kg ha⁻¹, em dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Durante a maior parte do ciclo das plantas, as cultivares acumularam quantidades semelhantes de Zn. Entretanto, nos estádios finais, a partir dos 125 dias, o híbrido GNZ2004 obteve maiores quantidades acumuladas que a cultivar P30F33, o que foi determinante para afirmar sobre a maior capacidade de absorção de Zn deste híbrido (Figura 10).

A acumulação de manganês teve comportamento linear durante o ciclo da cultura para os dois híbridos (Figura 11). Para cada dia após a emergência, o acúmulo de Mn na matéria seca aumentou $0,006 \text{ kg ha}^{-1}$. A equação de regressão explica 87% da variação total dos dados (Figura 10).

Foram observadas diferenças significativas entre os híbridos GNZ2004 e P30F33, quanto ao acúmulo de manganês (Tabela 19). O híbrido GNZ2004 acumulou maiores quantidades de manganês durante o ciclo da cultura, ou seja, $0,43 \text{ kg ha}^{-1}$. Segundo Gorsline et al. (1964), a acumulação de Mn é geneticamente controlada, contudo, é provável que a interação genótipo-ambiente seja também um fator importante. Assim, nas condições de ambiente em que esse experimento foi realizado, o híbrido GNZ2004 foi mais exigente em manganês durante o ciclo da cultura do que a cultivar P30F33.

A acumulação de Mn foi pequena nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas ($0,07 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 29 dias após a emergência), com incremento nos totais acumulados pelas cultivares aos 44 dias após a emergência que aumentaram linearmente até os estádios finais (Tabela 19).

Observou-se que, logo após o início do enchimento de grãos (aos 85 dias após a emergência), ocorreu um pico de absorção de Mn, evidenciando ser este um período de grande absorção deste micronutriente pela cultura do milho. Contudo, após este pico, os híbridos tiveram uma redução nos totais de Mn acumulados. Posteriormente, houve um aumento dos totais acumulados até um ponto máximo, que ocorreu próximo ao final do ciclo, com valores médios em torno de $0,70 \text{ kg ha}^{-1}$. Após o ponto de máximo acúmulo, ocorreram perdas nos totais de Mn acumulado até a maturidade.

O acúmulo lento de Mn na fase inicial do ciclo das plantas, seguido de incremento crescente e linear até um ponto de máximo, com posterior redução nos totais acumulados nos estádios finais do ciclo, também foi observado por Andrade et al. (1975). Entretanto, os autores verificaram comportamento

quadrático para o acúmulo de Mn, tendo o ponto de máximo acúmulo ocorrido entre 82 e 94 dias após a emergência, com valores médios em torno de 0,61 kg ha⁻¹, época semelhante ao pico de absorção observado neste trabalho.

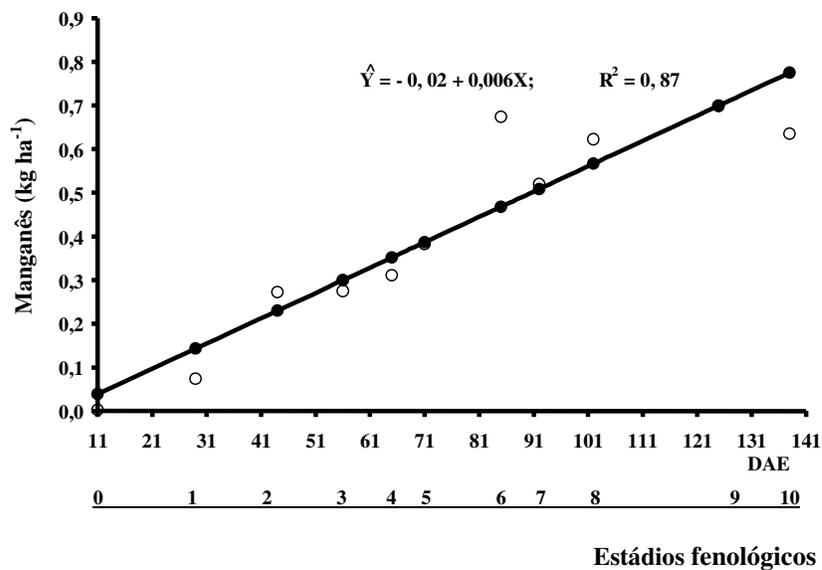


FIGURA 11. Acumulação total de manganês, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos (dias após a emergência). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Não foram observadas diferenças significativas entre os híbridos quanto ao acúmulo de cobre. A acumulação desse nutriente nas cultivares GNZ2004 e P30F33 apresentou comportamento linear durante o ciclo da cultura (Figura 11). Para cada dia após a emergência, houve aumento de 0,002 kg ha⁻¹ no acúmulo de cobre nas plantas. A equação de regressão explica 84% da variação total dos dados (Figura 11). Entretanto, na maturidade fisiológica, o híbrido GNZ2004 acumulou maior quantidade de cobre em comparação à cultivar P30F33.

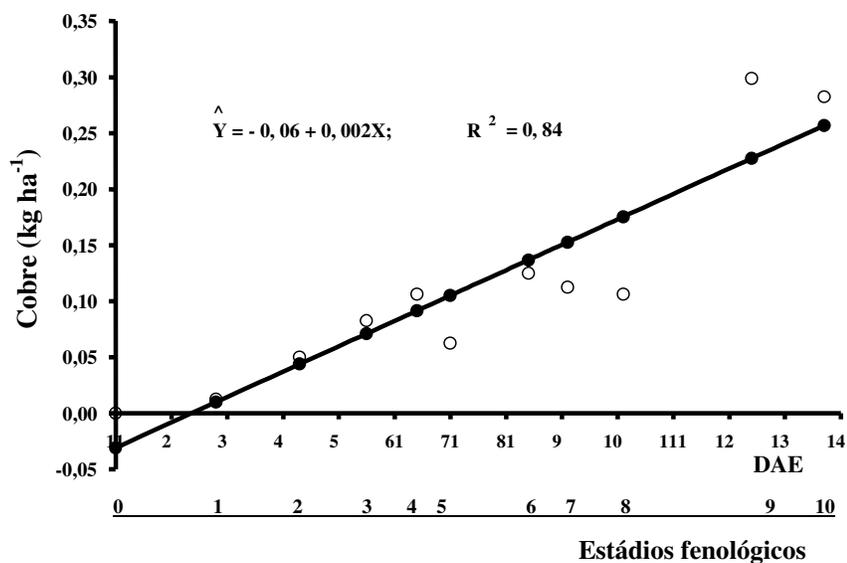


FIGURA 12. Acumulação total de cobre, em kg ha⁻¹, considerando a média de dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência - D. A.E.). UFLA, Lavras/MG, 2006.

4.3 Acúmulo diferencial de matéria seca e de nutrientes nas diferentes partes da planta

A dinâmica com que ocorre a distribuição da acumulação da matéria seca e dos nutrientes nas diferentes partes da planta de milho é de grande importância na definição de estratégias de manejo da adubação e tratos culturais. O milho é uma planta C4, de elevada eficiência no aproveitamento da luz e na fixação de carbono, o que é dependente da fotossíntese realizada principalmente pelas folhas. A produtividade de grãos de milho está diretamente relacionada

com a capacidade de translocação de nutrientes para os grãos, como também a qualidade da massa ensilada está diretamente relacionada com a participação percentual dos grãos na matéria seca total da planta.

Desse modo, saber como ocorre o acúmulo de matéria seca e de cada nutriente em cada parte vegetativa da planta de milho pode subsidiar decisões quanto à melhor alternativa de manejo da fertilização da cultura.

4.3.1 Acúmulo de matéria seca nas diferentes partes da planta

Na Tabela 20 estão apresentados os totais da matéria seca acumulada nas diferentes partes das plantas de milho e a matéria seca total acumulada em cada estágio fenológico da cultura. Na Figura 13 estão apresentados graficamente os acúmulos da matéria seca total e da matéria seca acumulada nas diferentes partes vegetativas da planta de milho, em função dos estágios fenológicos da cultura (dias após a emergência).

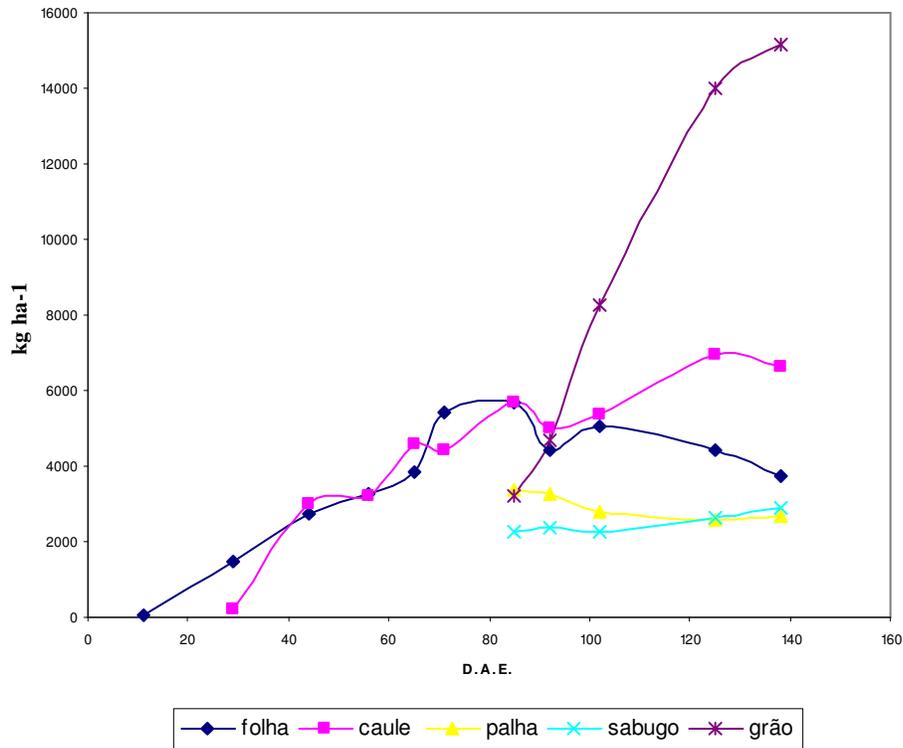


FIGURA 13. Acúmulos da matéria seca nas diferentes partes vegetativas da planta de milho, em kg ha^{-1} , considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

O acúmulo de matéria seca (MS) nas folhas foi pequeno no início do desenvolvimento da cultura ($70,24 \text{ kg ha}^{-1}$, aos 11 dias após a emergência); aos 29 dias após a emergência ocorreu um incremento no acúmulo de MS nas folhas, que foi crescente até os 85 dias após a emergência (início do enchimento de

grãos), quando o acúmulo foi máximo, 5.662,50 kg ha⁻¹ (Tabela 20). No período compreendido entre o início do enchimento de grãos e a maturidade fisiológica da cultura, as folhas entraram em processo de perda de matéria seca. Isto também foi observado por Ulhoa (1982), Vasconcellos et al. (1983) e Karlen et al. (1988). Entretanto, esses autores obtiveram valores máximos para o acúmulo de MS nas folhas mais precocemente, próximo do florescimento. O valor máximo observado por esses autores foi de 2.288 kg ha⁻¹ (Vasconcellos et al., 1983), valor este muito inferior ao valor máximo de matéria seca acumulada nas folhas, obtido com os híbridos GNZ2004 e P30F33.

TABELA 20. Valores totais da matéria seca acumulada, em kg ha⁻¹, nas diferentes partes da planta de milho, considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência - DAE). UFLA, Lavras, 2006.

Estádio fenológico*	DAE	Folhas	Colmo + pendão	Palhas	Sabugos	Grãos	MS total
0	11	70					70
1	29	1462	207				1669
2	44	2756	3025				5781
3	56	3237	3225				6462
4	65	3856	4581				8437
5	71	5414	4412				10289
6	85	5662	5681	3368	2287	3218	20218
7	92	4410	5010	2325	2375	4675	19729
8	102	5045	5360	2800	2275	8275	23755
9	125	4406	6962	2600	2650	14012	30631
10	138	3750	6606	2968	2893	15156	31078

* Segundo classificação de Fancelli (1986).

Obs.: em negrito estão os valores máximos de matéria seca acumulados em cada parte da planta.

O acúmulo de matéria seca no colmo foi muito baixo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (207,79 kg ha⁻¹, aos 29 dias após a emergência); aos 44 dias após a emergência, houve um incremento significativo na matéria seca total acumulada nos colmos das plantas de milho, que se estendeu até próximo à maturidade fisiológica da cultura, que ocorreu aos 125 dias após a emergência. Nesta época ocorreu a máxima acumulação de MS, ou seja, 6.962,50 kg ha⁻¹ (Tabela 20). Aos 71 dias após a emergência, final do período de florescimento, os pendões contribuíram com 462,5 kg ha⁻¹ da matéria seca total dos colmos. Vale ressaltar que, na maturidade fisiológica, houve perda de matéria seca nos colmos.

O máximo acúmulo de MS nos colmos observado por Vasconcellos et al. (1983) ocorreu aos 119 dias, tendo estes autores utilizado cultivares de ciclo mais tardio (BR105 e BR126). O fato de as cultivares GNZ2004 e P30F33 acumularem MS nos colmos por período maior (125 dias) e apresentarem ciclo mais precoce, em parte, explica o maior potencial de produção de MS desses híbridos, que foi de, aproximadamente, 30 t ha⁻¹.

Nas palhas das espigas, o acúmulo de matéria seca observado foi máximo aos 85 dias após a emergência. A partir daí, houve uma pequena redução na MS acumulada, mantendo-se praticamente constante até o final do ciclo da cultura (Tabela 20). Pode-se inferir que as plantas de milho acumulam MS nas palhas até o final do florescimento, não se observando aumentos nos totais acumulados até o final do ciclo da cultura.

O acúmulo de MS no sabugo foi praticamente constante até os 102 dias após a emergência, com posterior elevação nos valores totais acumulados até próximo à maturidade fisiológica, em que se atingiu o máximo acúmulo de MS nos sabugos (2.893,75 kg ha⁻¹) (Tabela 20).

Para os grãos, o acúmulo de MS foi crescente até a maturidade fisiológica, quando atingiu o valor máximo de 15.156,25 kg ha⁻¹. Houve

incremento significativo nos totais da matéria seca acumulada nos grãos. a partir dos 102 dias após a emergência.

Na maturidade fisiológica, os grãos contribuíram com 48,76% da MS total da planta de milho, a palha com 9,55% e o sabugo com 9,31%, ou seja, a espiga contribuiu com 67,62% da MS total da planta. Esse percentual é superior ao obtido por outros autores, que obtiveram em torno de 55% de contribuição da espiga na matéria seca total (Sayre, 1948; Andrade et al., 1975; Furlani et al., 1977; Vasconcellos et al., 1983).

Esta maior capacidade de acumular matéria seca na espiga, órgão que se desenvolve após o florescimento da planta de milho, em parte, explica a superioridade das cultivares GNZ2004 e P30F33 quanto à acumulação de MS em relação às cultivares utilizadas em trabalhos realizados anteriormente (Furlani et al., 1977; Vasconcellos et al., 1983). Isso permite concluir que a espiga é o maior dreno de nutrientes na planta de milho.

A MS total de folhas e colmos acumulada na parte aérea das cultivares GNZ2004 e P30F33 até o florescimento foi semelhante à obtida por outros autores, em trabalhos realizados anteriormente (Vasconcellos et al., 1983; Andrade et al., 1975). Isso evidencia que a diferença entre o acúmulo de MS observado nessas cultivares e o acúmulo de MS observado em trabalhos realizados anteriormente se deve aos totais acumulados no período compreendido entre o florescimento e a maturidade fisiológica, acúmulo este que, na maioria das vezes, ocorre na espiga.

4.3.2 Acúmulo de nutrientes nas folhas

Os acúmulos de N, P, Mg e S nas folhas, assim como observado para a matéria seca (MS), foram crescentes até o período compreendido entre o final do florescimento e o início do enchimento de grãos; nesse período, foram atingidos os pontos de máximo acúmulo nas folhas, ou seja, 105,88 kg ha⁻¹ de N aos 85

dias, 14,16 kg ha⁻¹ de P aos 85 dias, 10,23 kg ha⁻¹ de Mg aos 92 dias e 10,54 kg ha⁻¹ de S aos 85 dias (Tabela 21).

A partir do ponto de máximo acúmulo, observou-se, até a maturidade fisiológica, um período de perdas significativas desses nutrientes nas folhas. Entretanto, para o Mg, além da acumulação ocorrer durante um período maior, até cerca de quatro semanas após o florescimento (92 dias após a emergência), as perdas observadas após o ponto de máximo acúmulo foram menos significativas que as observadas para N, P, e S. A acumulação crescente de matéria seca, N, P e Mg, até um ponto de máximo acúmulo, com posterior redução nos totais acumulados até a maturidade fisiológica, também foi observada por Vasconcellos et al. (1983).

Para o potássio, o acúmulo nas folhas foi pequeno no início do desenvolvimento das plantas (1,12 kg ha⁻¹ aos 11 dias após a emergência) e crescente até o ponto de máximo acúmulo, observado no pré-florescimento, aos 56 dias após a emergência. Posteriormente, no período compreendido entre o ponto de máximo acúmulo e a maturidade fisiológica, ocorreram perdas gradativas nos totais de K acumulado nas folhas das plantas de milho (Tabela 21). Contudo, o ponto de máximo acúmulo de K foi obtido mais precocemente do que o observado para a MS, N e para os outros macronutrientes, evidenciando a importância da disponibilidade desse nutriente na fase de crescimento vegetativo da cultura. O lento acúmulo inicial de K nas folhas, a acumulação crescente até o ponto de máximo acúmulo observado aos 56 dias, seguido de perdas gradativas até a maturidade fisiológica, também foram observados por Vasconcellos et al. (1983), Vasconcellos et al. (1998) e por Karlen (1988), citados por Mullins & Burmester (1996).

O acúmulo de cálcio nas folhas das plantas de milho foi crescente até o final do florescimento, 71 dias após a emergência; aos 85 dias após a emergência, ocorreu um incremento significativo nos totais de Ca acumulado

pelas folhas, com um modesto crescimento até os estádios finais de desenvolvimento das plantas, quando foram atingidos os valores máximos de Ca acumulado nas folhas, 33,94 kg ha⁻¹ (Tabela 21).

Verifica-se que, diferentemente do observado para N, P, K e S, o cálcio foi acumulado por um período maior nas folhas e que não houve um período de perdas significativas no terço final do ciclo da cultura. Esse comportamento foi semelhante ao obtido por Vasconcellos et al. (1983), que observaram acúmulos crescentes de Ca nas folhas de plantas de milho, até o ponto de máximo acúmulo, obtido nos estádios finais do ciclo da cultura.

Os totais de boro acumulados pelas folhas das plantas de milho foram crescentes até os 102 dias após a emergência (estádio 9). Neste ponto, foram obtidos os valores máximos de B acumulado nas folhas, 0,198 kg ha⁻¹ (Tabela 21). A partir daí, observaram-se reduções significativas nos totais acumulados até a maturidade fisiológica.

O acúmulo de cobre foi crescente até o ponto de máximo acúmulo observado aos 85 dias após a emergência (início do enchimento de grãos), com o valor de 0,070 kg ha⁻¹. Entretanto, observaram-se perdas nos totais de Cu acumulado nas folhas até os 125 dias após a emergência, quando foi observado um segundo pico de acúmulo de Cu nas folhas também com 0,070 kg ha⁻¹ e posterior redução até a maturidade fisiológica (Tabela 21).

A acumulação de manganês teve comportamento semelhante ao observado para MS, N, P e S, sendo crescente até o florescimento e, posteriormente, entrando em um período de perdas até a maturidade fisiológica. O valor máximo de Mn acumulado nas folhas foi de 0,49 kg ha⁻¹ (Tabela 21).

Para o zinco, observaram-se dois picos de acúmulo, no pré-florescimento e no início do enchimento de grãos, ou seja, aos 56 e aos 85 dias após a emergência. No período compreendido entre os picos de acúmulo, houve redução dos totais acumulados. Após o segundo pico, ocorreu redução gradativa

dos totais de Zn acumulados nas folhas até a maturidade fisiológica (Tabela 21). Vasconcellos et al. (1983) observaram que os acúmulos de Zn foram crescentes até entre 56 e 78 dias, com posteriores reduções nos acúmulos até a maturidade fisiológica. Entretanto, Vasconcellos et al. (1998) observaram redução nos totais de Zn acumulado nas folhas mais tardiamente, ou seja, nos estádios finais do desenvolvimento da cultura.

A ordem decrescente dos valores máximos de nutrientes acumulados nas folhas das plantas de milho observados foi a seguinte: K, N, Ca, P, S, Mg, Mn, Zn, B e Cu.

TABELA 21. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nas folhas de plantas de milho, em kg ha⁻¹, considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Estádio fenológico*	DAE	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
0	11	70,2	2,75	0,36	1,12	0,31	0,10	0,21	0,0005	0,0012	0,0046	0,0037
1	29	1462,1	44,68	3,73	23,68	5,48	2,02	2,71	0,0115	0,0130	0,0666	0,0442
2	44	2756,2	68,28	8,01	45,31	13,17	4,68	5,51	0,0259	0,0293	0,1871	0,1184
3	56	3237,5	94,69	10,63	196,85	16,99	8,70	4,98	0,0456	0,0550	0,2432	0,2777
4	65	3856,2	101,70	12,24	88,68	15,96	4,93	6,43	0,0357	0,0607	0,2663	0,1882
5	71	5414,3	105,71	12,11	88,36	18,70	7,17	8,10	0,0454	0,0447	0,3130	0,1850
6	85	5662,5	105,88	14,16	80,86	32,04	9,85	10,54	0,0565	0,0702	0,4905	0,2180
7	92	4410,0	79,78	9,93	68,21	30,53	10,23	7,04	0,0519	0,0470	0,3220	0,1741
8	102	5045,0	87,02	9,73	47,22	33,11	8,48	7,16	0,1980	0,0535	0,426	0,1684
9	125	4406,2	57,83	5,07	56,82	33,94	7,52	4,99	0,0260	0,0705	0,3557	0,0993
10	138	3750,0	41,71	4,18	38,32	31,09	6,69	3,92	0,0395	0,0578	0,3260	0,0849

* Segundo classificação de Fancelli (1986).

Obs: em negrito estão os valores máximos de matéria seca acumulados nas folhas.

O valor total máximo de N acumulado nas folhas ($105,88 \text{ kg ha}^{-1}$) foi superior e ocorreu mais tardiamente que os máximos acumulados observados por Vasconcellos et al. (1983). Vale ressaltar que esses autores utilizaram duas cultivares (BR105 e BR126), com e sem irrigação suplementar e obtiveram cerca de 35 kg ha^{-1} de acúmulo máximo de N nas folhas aos 56 dias. Essa diferença evidencia que os híbridos GNZ2004 e P30F33 acumulam N nas folhas por um período maior e em maiores quantidades que cultivares mais antigas. Entretanto, deve-se considerar que, além das cultivares, as adubações (doses de fertilizantes) utilizadas nesses trabalhos foram diferentes.

Em relação ao potássio, Vasconcellos et al. (1983) também obtiveram o máximo acúmulo de K nas folhas aos 56 dias, época semelhante à obtida neste trabalho, porém, com valores muito inferiores, ou seja, de 27 kg ha^{-1} , em comparação aos 196 kg ha^{-1} obtidos com os híbridos GNZ2004 e P30F33. Essa diferença pode ser explicada, em parte, pelo fato de essas cultivares serem mais baixas, mais precoces, permitirem maiores estandes e possuírem maior potencial de produção de matéria seca e de grãos, em comparação às utilizadas por Vasconcellos et al. (1983). Segundo Loué (1963), cultivares mais produtivas acumulam maiores quantidades de nutrientes. Vale ressaltar que, apesar dessa diferença, o comportamento das cultivares quanto ao acúmulo de N e de K foi semelhante ao observado com as cultivares utilizadas por Vasconcellos et al. (1983), ou seja, ocorreu acúmulo crescente até um ponto de máximo e posterior redução nos totais acumulados até o final do ciclo.

O acúmulo de fósforo foi crescente até os 85 dias após a emergência, quando foi observado o acúmulo máximo de P nas folhas, $14,16 \text{ kg ha}^{-1}$, ocorrendo posterior queda nos totais acumulados até a maturidade fisiológica. Vasconcellos et al. (1983) observaram valores máximos de P acumulado nas folhas, inferiores ao obtido com os híbridos GNZ2004 e P30F33, ou seja, valor de $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$.

Os totais máximos de Ca acumulado nas folhas obtidos com os híbridos GNZ2004 e P30F33 ocorreram em época semelhante à observada por Vasconcellos et al. (1983), que obtiveram cerca de 13 kg ha⁻¹, aos 119 dias. Entretanto, esses valores foram inferiores aos 34 kg ha⁻¹ obtidos neste trabalho. Contudo, em ambos os trabalhos, o comportamento das cultivares avaliadas foi semelhante, sendo a acumulação de Ca nas folhas crescente até os estádios finais do ciclo da cultura, com redução nos totais acumulados na maturidade fisiológica.

O acúmulo de magnésio nas folhas foi crescente, até os 92 dias após a emergência, quando foram obtidos os máximos acumulados, 10,23 kg ha⁻¹. Logo depois este período, houve redução nos totais acumulados para cerca de 7,5 kg ha⁻¹, o que praticamente se manteve constante até a maturidade fisiológica. Este comportamento difere do observado por Vasconcellos et al. (1983) que obtiveram valores máximos de Mg acumulado na folhas mais precocemente, ou seja, aos 78 dias. O valor máximo obtido por Vasconcellos et al. (1983) foi de 10,5 kg ha⁻¹, valor muito próximo ao obtido neste trabalho.

A acumulação de boro foi crescente até os 102 dias após a emergência, quando foram obtidos os valores máximos de B acumulado nas folhas, 0,198 kg ha⁻¹. Posteriormente, ocorreu redução drástica nos totais acumulados desse elemento, até a maturidade fisiológica (Tabela 21).

Foram observados dois picos de acúmulo de cobre nas folhas, um aos 85 dias e outro aos 125 dias após a emergência, ambos com 0,070 kg ha⁻¹. Os dois picos de acúmulo ocorreram após o início do enchimento dos grãos, evidenciando ser este um período de maior acúmulo de cobre nas folhas das plantas de milho.

Também para o Zn foram observados dois picos de acúmulo nas folhas, 0,27 kg ha⁻¹, aos 56 dias e 0,22 kg ha⁻¹, aos 85 dias após a emergência (Tabela 21). Constata-se que o período compreendido entre o pré-florescimento e o

início do enchimento de grãos foi o de maior acúmulo de Zn nas folhas. Este comportamento é semelhante ao observado por Vasconcellos et al. (1983) que observaram o máximo acúmulo de Zn aos 56 e aos 78 dias.

O acúmulo de Mn nas folhas foi crescente até os 85 dias após a emergência, quando foi atingido o valor máximo acumulado, 0,49 kg ha⁻¹ (Tabela 21). Posteriormente ocorreu redução nos totais acumulados para um valor de 0,35 kg ha⁻¹, o que se manteve praticamente constante até a maturidade fisiológica da cultura.

Com os resultados apresentados na Tabela 21 pode-se sugerir que o período compreendido entre os 65 e os 85 dias após a emergência é adequado para a retirada de amostras de folhas de plantas de milho para a realização análises foliares, pois, neste período foram observados os valores máximos, ou próximos do máximo, acumulados nas folhas, para maioria dos nutrientes analisados. Contudo, o pico de absorção de K, ocorrido aos 56 dias após a emergência e o pico de absorção de boro, ocorrido aos 102 dias após a emergência, sugerem a adoção de critérios diferentes quanto à amostragem de folhas para análise dos teores desses nutrientes.

Para os micronutrientes analisados, os resultados apresentados na Tabela 21, permitem sugerir a realização de amostragem de folhas das plantas de milho para análises foliares.

4.3.3 Acúmulo de nutrientes nos colmos

Os valores totais de nutrientes acumulados nos colmos das plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho (dias após a emergência) estão apresentados na Tabela 22. No estágio 0 (zero) não foram obtidos valores para os acúmulos de nutrientes nos colmos porque, neste estágio, a planta de milho ainda não possui colmo e o seu ponto de crescimento ainda está abaixo do nível do solo.

TABELA 22. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nos colmos de plantas de milho, em kg ha⁻¹, considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Estádio fenológico*	DAE	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
0	11											
1	29	207,8	6,01	0,566	3,316	0,842	0,472	0,329	0,0017	0,0018	0,0076	0,0153
2	44	3025,0	56,04	6,257	47,916	10,267	5,041	3,909	0,0325	0,0194	0,0891	0,1333
3	56	3225,0	58,45	4,273	79,603	10,859	7,831	1,522	0,0228	0,0291	0,0305	0,0955
4	65	4581,2	68,15	6,630	105,357	9,826	4,234	2,987	0,0257	0,0442	0,0529	0,1744
5	71	4412,5	40,48	3,506	70,953	8,067	4,350	2,057	0,0255	0,0147	0,0483	0,0777
6	85	5681,2	49,43	3,845	81,128	12,900	7,196	2,823	0,0374	0,0202	0,0728	0,0920
7	92	5010,0	37,07	3,277	69,338	13,421	6,869	2,031	0,0283	0,0137	0,0769	0,0625
8	102	5360,0	31,62	3,066	69,465	11,445	5,243	2,056	0,1946	0,0162	0,0628	0,0834
9	125	6962,5	40,38	3,148	114,348	17,442	6,365	2,602	0,0078	0,0596	0,0934	0,1153
10	138	6606,2	35,01	3,855	116,534	15,715	6,262	2,060	0,0307	0,0530	0,0756	0,1119

* Segundo classificação de Fancelli (1986).

Obs.: em negrito estão os valores máximos de matéria seca acumulados nos colmos.

A ordem decrescente dos valores máximos de nutrientes acumulados nos colmos das plantas de milho foi a seguinte: K, N, Ca, Mg, P, S, B, Zn, Mn e Cu.

Os acúmulos de N, P, Mg e S nos colmos foram crescentes até o período compreendido entre o florescimento e o início do enchimento de grãos, quando foram atingidos os valores máximos acumulados, ou seja, 68,15 kg ha⁻¹ de N, aos 65 dias; 6,63 kg ha⁻¹ de P, aos 65 dias; 7,20 kg ha⁻¹ de Mg, aos 85 dias e 2,99 kg ha⁻¹ de S, aos 65 dias. A partir do ponto de máximo acúmulo de cada um desses nutrientes, houve redução nos totais acumulados, que se mantiveram constantes até a maturidade fisiológica.

A acumulação crescente de N, P e Mg, nos colmos das plantas de milho até um ponto de máximo acúmulo com posterior redução nos totais acumulados até a maturidade fisiológica, também foi observado por Vasconcellos et al. (1983). Entretanto, após esse ponto, Vasconcellos et al. (1983) observaram reduções nos valores totais de N e de P acumulados maiores que os obtidos com os híbridos GNZ2004 e P30F33.

O acúmulo de nitrogênio em colmos de plantas de milho foi muito pequeno nos estádios iniciais de desenvolvimento ($6,01 \text{ kg ha}^{-1}$, aos 29 dias após a emergência), constatando-se um incremento apenas aos 44 dias após a emergência e crescimento neste acúmulo até um ponto de máximo acúmulo, $68,15 \text{ kg ha}^{-1}$, que ocorreu no florescimento, aos 65 dias após a emergência. Após esse período, houve perdas de N pelo colmo até a maturidade fisiológica. Esse comportamento foi semelhante ao observado por Vasconcellos et al. (1983). Entretanto, estes mesmos autores utilizaram cultivares de ciclo mais tardio e obtiveram o máximo acúmulo de N nos colmos mais precocemente, ou seja, aos 56 dias. Com isso, pode-se inferir que os híbridos GNZ2004 e P30F33 acumulam N nos colmos por um período maior do ciclo do que cultivares utilizadas em trabalhos realizados anteriormente.

A acumulação de fósforo em colmos de plantas de milho teve comportamento similar ao observado para o N, com pequeno acúmulo inicial ($0,57 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 29 dias após a emergência), ocorrendo incremento significativo aos 44 dias após a emergência, e crescimento nos totais acumulados até o ponto de máximo acúmulo, que foi de $6,63 \text{ kg ha}^{-1}$, observado no florescimento. Posteriormente foram verificadas perdas de P pelos colmos até a maturidade fisiológica. Esse comportamento foi semelhante ao observado por Vasconcellos et al. (1983).

Para o potássio, foram observados dois picos de acúmulo nos colmos durante o ciclo da cultura, sendo um de $105,35 \text{ kg ha}^{-1}$, aos 65 dias após a

emergência (florescimento) e outro de 116,53 kg ha⁻¹, aos 138 dias (maturidade fisiológica). Após o primeiro pico de acúmulo, ocorreram perdas nos totais de K acumulados para 72 kg ha⁻¹, com a retomada na acumulação ocorrendo apenas nos estádios finais do desenvolvimento da cultura.

Vasconcellos et al. (1983) também observaram, aos 65 dias, um pico na acumulação de K nos colmos, com redução nos totais acumulados após este ponto de máximo acúmulo. Todavia, não foi observada retomada na acumulação nos estádios finais do ciclo, como observado neste trabalho. Karlen et al. (1988), citados por Mullins & Burmester (1996), observaram o pico de acúmulo de K nos colmos no período inicial do enchimento de grãos. Entretanto, os autores observaram perdas gradativas nos totais acumulados somente nos estádios finais do desenvolvimento da cultura.

A acumulação de cálcio nos colmos das plantas de milho foi semelhante à de MS, ou seja, crescente até os estádios finais de desenvolvimento da cultura, aos 125 dias após a emergência, quando foram obtidos os valores máximos de Ca acumulado nos colmos. Entretanto, foi observada também pequena perda de Ca pelos colmos, até a maturidade fisiológica.

Esse comportamento é também semelhante ao observado por Vasconcellos et al. (1983), que constataram o máximo acúmulo de Ca nos colmos aos 119 dias. Entretanto, os valores observados, em média, 10,62 kg ha⁻¹, foram inferiores aos obtidos com os híbridos GNZ2004 e P30F33.

A acumulação crescente de cálcio e de matéria seca nos colmos, com valores máximos obtidos nos estádios finais de desenvolvimento da cultura, neste trabalho e no realizado por Vasconcellos et al. (1983), foram observados na mesma época, aos 125 e 119 dias após a emergência, respectivamente. Isso sugere uma relação direta entre a acumulação de matéria seca e de cálcio nos colmos das plantas de milho. O acúmulo de matéria seca nas plantas é dependente de fatores como absorção de íons, manutenção da integridade da

membrana plasmática, formação de parede celular, divisão celular e processos metabólicos celulares, que são as principais funções do cálcio nas plantas (Pavan & Miyazama, 1984).

Com isso, pode-se inferir que plantas de milho acumulam Ca nos colmos até os estádios finais do desenvolvimento da cultura e têm perdas nos totais acumulados na maturidade fisiológica.

Os totais de magnésio acumulado pelos colmos das plantas de milho foram crescentes até os 85 dias após a emergência, quando foi observado o máximo acúmulo de $7,19 \text{ kg ha}^{-1}$. Após este período, houve pequena redução nos totais de Mg acumulados até a maturidade fisiológica para cerca de $6,20 \text{ kg ha}^{-1}$. Isso permite inferir que as plantas de milho acumulam Mg até um ponto de máximo, ocorrido aos 85 dias e, depois, cessam a acumulação, estabilizando os totais acumulados até o final do ciclo.

O padrão de acumulação de enxofre nos colmos das plantas de milho foi o mesmo observado para o N e P, ou seja, crescimento nos totais acumulados até o ponto de máximo acúmulo que ocorreu no florescimento. As perdas observadas no período posterior ao ponto de máximo acúmulo foram, proporcionalmente, muito menores que as observadas para o N e P. Isso permite inferir que as plantas de milho acumularam S até um ponto de máximo, ocorrido aos 65 dias após a emergência e, depois, cessaram a acumulação, estabilizando os totais acumulados até o final do ciclo.

O acúmulo de boro nos colmos das plantas de milho foi pequeno nos estádios iniciais ($0,0017 \text{ kg ha}^{-1}$, aos 29 dias após a emergência), ocorrendo um incremento aos 44 dias após a emergência, estabilizando em um patamar em torno de $0,029 \text{ kg ha}^{-1}$, aos 92 dias após a emergência. Aos 102 dias após a emergência, foi observado o ponto de máximo acúmulo de B nos colmos, $0,19 \text{ kg ha}^{-1}$, com posterior redução dos totais acumulados, ocorrendo na maturidade fisiológica.

O acúmulo de cobre foi crescente até florescimento, 65 dias após a emergência, quando foi observado um primeiro pico de acúmulo, $0,044 \text{ kg ha}^{-1}$. Após esse período, houve redução significativa nos totais de Cu acumulado nos colmos. Nos estádios finais de desenvolvimento da cultura, aos 125 dias após a emergência, ocorreu o segundo pico nos totais de Cu acumulado nos colmos, $0,059 \text{ kg ha}^{-1}$, com pequena redução até a maturidade fisiológica.

Para o acúmulo de manganês nos colmos, foram observados dois picos, sendo o primeiro aos 44 dias após a emergência e o segundo aos 125 dias após a emergência, ambos com totais de Mn acumulado em torno de $0,09 \text{ kg ha}^{-1}$. Após o primeiro pico, observou-se queda nos totais acumulados, com posterior retomada do crescimento na acumulação até o segundo pico. No período entre o segundo pico e a maturidade, os totais acumulados se mantiveram praticamente constantes.

Os totais de zinco acumulados nos colmos das plantas de milho cresceram até o ponto de máximo acúmulo, que ocorreu no florescimento, 65 dias após a emergência, com $0,17 \text{ kg ha}^{-1}$. Após o florescimento, observaram-se perdas nos totais de Zn acumulado nos colmos, ocorrendo a retomada na acumulação até os estádios finais de desenvolvimento da planta, evidenciando-se um segundo pico de acúmulo de Zn nos colmos, com valores em torno de $0,11 \text{ kg ha}^{-1}$.

Pode-se inferir que a planta de milho acumula Zn nos colmos até os estádios finais de desenvolvimento. Vasconcellos et al. (1983), apesar de observarem o acúmulo de Zn nos colmos até os estádios finais de desenvolvimento da cultura, não obtiveram pico de acúmulo no florescimento, como observado para os híbridos GNZ2004 e P30F33.

4.3.4 Acúmulo de nutrientes nas palhas das espigas

Os valores totais de nutrientes acumulados nas palhas das plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho (dias após a emergência – DAE), estão apresentados na Tabela 23.

A ordem decrescente dos valores totais máximos de nutrientes acumulados observados nas palhas foi a seguinte: K, N, P, Ca, Mg, S, Mn, B, Zn e Cu. Há uma carência de trabalhos científicos que contemplem a acumulação de matéria seca e de nutrientes nas palhas das espigas de milho separadamente de outras partes da planta. A maioria dos trabalhos existentes contém dados da soma dos acúmulos de palhas e sabugos ou dados dos acúmulos da espiga (palha + sabugos + grãos).

Os acúmulos de N, P, Mg e S nas palhas das espigas de milho, assim como o acúmulo de MS nas palhas, foram máximos no terço inicial do período de enchimento de grãos, sendo de 26,36 kg ha⁻¹ de N, aos 85 dias; 4,97 kg ha⁻¹ de P, aos 92 dias; 3,84 kg ha⁻¹ de Mg, aos 92 dias e 1,91 kg ha⁻¹ de S, aos 85 dias. Posteriormente, foram verificadas reduções gradativas nos totais acumulados desses elementos, até a maturidade fisiológica.

Os acúmulos de K, Ca, Cu, Mn e Zn foram crescentes até os estádios finais de desenvolvimento da cultura, quando foram observados os valores máximos acumulados, ou seja, 35,75 kg ha⁻¹ de K, na maturidade fisiológica; 4,55 kg ha⁻¹ de Ca, aos 125 dias; 0,022 kg ha⁻¹ de Cu, na maturidade fisiológica; 1,85 kg ha⁻¹ de Mn, aos 125 dias e 0,075 kg ha⁻¹ de Zn, também aos 125 dias. Entretanto, para o B, a acumulação nas palhas foi crescente até os 102 dias, quando se obteve o máximo valor de B acumulado nas palhas, 0,088 kg ha⁻¹, com um período posterior de perdas até a maturidade fisiológica. As acumulações de MS, N, P, Ca, Mg, S e B nas palhas das espigas das plantas de milho foram semelhantes ao observado nas folhas das plantas de milho para esses nutrientes.

TABELA 23. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nas palhas de plantas de milho, em kg ha⁻¹, considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Estádio fenológico*	DAE	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
6	85	3368,75	26,36	3,99	30,72	2,52	3,02	1,91	0,0123	0,0118	0,6172	0,0507
7	92	3259,20	20,20	4,97	29,72	2,24	3,84	1,56	0,0108	0,0147	0,7975	0,0428
8	102	2800,00	15,05	2,12	13,44	3,27	2,48	1,19	0,0878	0,0074	0,3905	0,0517
9	125	2600,00	12,58	1,42	22,77	4,55	2,57	0,95	0,0075	0,0208	1,8546	0,0754
10	138	2671,87	10,55	1,35	35,75	3,50	2,15	0,61	0,0143	0,0220	0,1685	0,0454

* Classificação segundo Fancelli (1986).

Obs.: em negrito estão os valores máximos de matéria seca acumulados nas palhas.

4.1.3.5 Acúmulo de nutrientes nos sabugos das espigas

Os valores totais de nutrientes acumulados nos sabugos das plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho (dias após a emergência), estão apresentados na Tabela 24.

A ordem decrescente dos valores totais máximos de nutrientes acumulados, observada nos sabugos das plantas de milho, foi a seguinte: N, K, P, Mg, Ca, S, Mn, Zn, Cu, B. Assim como para as palhas, há carência de trabalhos científicos que contemplem a acumulação de matéria seca e de nutrientes nos sabugos das espigas de milho, separadamente de outras partes da planta.

Os acúmulos de MS, K, B e Mn nos sabugos das espigas das plantas de milho foram crescente até o final do ciclo da cultura, quando foram observados os valores máximos acumulados, 2.893,75 kg ha⁻¹ de MS, 22,88 kg ha⁻¹ de K, 0,010 kg ha⁻¹ de B e 0,246 kg ha⁻¹ de Mn.

Para a MS e N, os incrementos na acumulação ocorreram nos estádios finais do desenvolvimento da cultura. Contudo, para a acumulação de Cu, também foi observado incremento significativo nos totais acumulados nos estádios finais do desenvolvimento da cultura.

Os acúmulos de N, P, Mg, S e Zn nos sabugos foram máximos aos 92 dias após a emergência, ou seja, no terço inicial do período de enchimento de grãos. Posteriormente, ocorreram perdas gradativas até a maturidade fisiológica. Entretanto, para a acumulação de N, as perdas observadas após o ponto de máximo acúmulo foram bem menos significativas.

A acumulação de Ca nos sabugos foi crescente até os 102 dias, quando foram atingidos os máximos acumulados, 2,45 kg ha⁻¹. Posteriormente, ocorreu redução dos totais de Ca acumulado nos sabugos até a maturidade fisiológica.

TABELA 24. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nos sabugos de plantas de milho, em kg ha⁻¹, considerando dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Estádio fenológico*	DAE	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
6	85	2287,50	23,44	3,87	14,55	1,18	1,84	1,81	0,0078	0,0124	0,1289	0,0257
7	92	2375,00	27,01	5,71	14,25	2,01	2,65	1,90	0,0038	0,0123	0,1521	0,0341
8	102	2275,00	19,85	3,71	14,74	2,45	1,74	1,32	0,0684	0,0099	0,1023	0,0259
9	125	2650,00	22,40	2,73	22,24	0,87	1,15	1,60	0,0040	0,0320	0,2390	0,0272
10	138	2893,75	21,27	2,48	22,88	0,93	1,17	1,22	0,0102	0,0300	0,2460	0,0273

* Classificação segundo Fancelli (1986).

Obs.: em negrito estão os valores máximos de matéria seca acumulados nos sabugos.

4.3.6 Acúmulo de nutrientes nos grãos

Os valores totais de nutrientes acumulados nos grãos das espigas das plantas de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho (dias após a emergência), estão apresentados na Tabela 25.

TABELA 25. Valores totais de matéria seca (MS) e de nutrientes acumulados nos grãos das espigas das plantas de milho, em kg ha⁻¹, por dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – DAE). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Estádio fenológico*	DAE	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
6	85	3218,75	55,76	11,42	24,72	1,18	4,22	5,07	0,0077	0,0109	0,1570	0,0306
7	92	4675,00	79,01	13,65	40,39	6,34	7,86	3,86	0,0071	0,0260	0,4338	0,0661
8	102	8275,00	126,60	25,46	67,52	5,21	8,61	9,63	0,2657	0,0176	0,3126	0,0555
9	125	14012,50	225,25	70,60	92,05	2,20	24,04	16,10	0,0134	0,1141	0,6954	0,1419
10	138	15156,25	242,12	68,15	103,25	2,39	25,48	14,57	0,0349	0,1193	0,7036	0,1512

* Classificação segundo Fancelli (1986).

Obs.: em negrito estão os valores máximos de matéria seca e de nutrientes acumulados nos grãos.

Assim como ocorreu para os sabugos, o nutriente acumulado em maior quantidade nos grãos foi o N, seguido pelo K. Esse resultado foi diferente do observado nas folhas, colmos e palhas, em que o K foi acumulado em maiores quantidades, seguido pelo N.

A ordem decrescente dos acúmulos de nutrientes nos grãos observada para os dois híbridos foi a seguinte: N>K>P>Mg>S>Ca>Mn>B>Zn>Cu (Tabela 26). Esse resultado corrobora com os obtidos por Coelho e França (1995) e por Vasconcellos et al. (1983). Porém, Andrade et al. (1975) e Phillips & Lessman

(1972), citados por Gamboa (1980), observaram que o acúmulo de fósforo nos grãos foi maior que o de potássio.

Na Tabela 26 estão apresentados os totais de cada nutriente acumulados nos grãos de milho observado neste trabalho e em outros mencionados na literatura, nos quais o acúmulo de nutrientes também foi determinado. Os valores obtidos para os acúmulos de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea pelas cultivares GNZ2004 e P30F33 foram superiores aos observados nesses outros trabalhos, evidenciando a maior capacidade dessas cultivares quanto ao acúmulo de nutrientes.

TABELA 26. Valores totais de nutrientes acumulados nos grãos, em kg ha⁻¹, por cultivares de milho, adaptados de outros trabalhos.

Autores	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
Borges, 2006 ⁽¹⁾	242,1	70,6	103,2	6,34	25,48	16,10	0,266	0,119	0,703	0,151
Coelho e França, 1995 ⁽²⁾	174,5	34,2	54,2	1,60	19,14					
Vasconcellos et al., 1983 ⁽³⁾	93,0	10,0	15,0	0,6	7,0					
Andrade et al., 1975 ⁽⁴⁾	90,7	22,2	7,7	0,02	2,76	7,19		0,005	0,016	0,107
Phillips & Lessman (1972), citados por Gamboa (1980) ⁽⁵⁾	87,9	24,7	7,8	0,04	2,84	6,86	0,010	0,004	0,010	0,100

⁽¹⁾ Resultados obtidos no presente trabalho, sendo 13 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares GNZ2004 e P30F33, Lavras - MG.

⁽²⁾ Considerando a produtividade de 10,15 t ha⁻¹.

⁽³⁾ Média das cultivares BR105 e BR126, com e sem irrigação, respectivamente, sendo 5,1 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares, Sete Lagoas, MG.

⁽⁴⁾ Média de cinco cultivares, sendo 5,9 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares.

⁽⁵⁾ Phillips & Lessman (1972), citados por Gamboa (1980), sendo 9,1 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares.

O zinco e o manganês foram os micronutrientes acumulados em maior quantidade nos grãos de milho, e o boro e o cobre foram os nutrientes acumulados em menor quantidade nos grãos. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Andrade et al. (1975) e Phillips & Lessman (1972), citados por Gamboa (1980). Os totais de cada macronutriente acumulados nos grãos de

milho, observados neste trabalho e em outros trabalhos mencionados na literatura (Tabela 26), ocorreram na mesma ordem decrescente em relação à quantidade de nutrientes extraídos por tonelada de grãos produzidos (Tabela 27).

Os acúmulos de MS, N, P, K, Mg, S, Cu, Mn e Zn nos grãos de milho foram crescentes até os estádios finais de desenvolvimento da cultura, quando foram obtidos os valores máximos acumulados. Foram observadas perdas de P e S, pelos grãos na maturidade (Tabela 25). Com os resultados obtidos, fica evidenciada a importância da disponibilidade N, P, K, Mg, S, Cu, Mn e Zn até os estádios finais do ciclo da cultura, para o adequado enchimento dos grãos.

Para o cálcio e para o boro, os valores máximos acumulados nos grãos foram obtidos mais precocemente, sendo observadas perdas desses nutrientes pelos grãos até a maturidade fisiológica. O acúmulo de Ca nos grãos de milho foi máximo aos 92 dias após a emergência, observando-se perdas nos totais acumulados até a maturidade. A acumulação de B nos grãos de milho teve comportamento semelhante ao observado nas folhas, nos colmos e nas palhas, ou seja, foi máximo aos 102 dias, com $0,26 \text{ kg ha}^{-1}$, ocorrendo perdas nos totais acumulados nos estádios subsequentes. Este comportamento não foi observado nos sabugos, nos quais valores máximos para o acúmulo de B foram obtidos na maturidade fisiológica da cultura (Tabela 24).

Com os dados apresentados nas Tabelas 26 e 27, pode-se concluir que, para este trabalho e o conduzido por Coelho e França (1995), no qual foram utilizadas cultivares com maior potencial de produção de grãos e em condições tropicais brasileiras, apesar de grandes diferenças observadas entre eles quanto aos totais de macronutrientes acumulados nos grãos, de maneira geral, essas diferenças não refletem na quantidade de nutrientes extraídos por tonelada de grãos produzidos. Isso permite inferir que a maior produção de grãos obtida com os híbridos GNZ2004 e P30F33 se deve mais à maior quantidade de grãos

produzida por unidade de área do que ao aumento da quantidade de MS e nutrientes acumulada nos grãos.

TABELA 27. Valores totais de nutrientes exportados para os grãos de milho, em kg ha⁻¹, por tonelada de grãos produzidos, valores adaptados de outros trabalhos.

Autores	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
Borges, 2006 ⁽¹⁾	18,62	5,24	7,94	0,18	1,96	1,12	0,003	0,009	0,054	0,01
Coelho e França, 1995 ⁽²⁾	17,19	3,37	5,34	0,16	1,89					
Vasconcelos et al., 1983 ⁽³⁾	18,23	1,96	2,94	0,12	1,37					
Andrade et al., 1975 ⁽⁴⁾	15,37	3,76	1,30	0,003	0,47	1,22		0,0008	0,003	0,02
Phillips e Lessman, 1972 ⁽⁵⁾	9,66	2,71	0,86	0,004	0,31	0,75	0,001	0,0004	0,001	0,01

⁽¹⁾ Resultados obtidos no presente trabalho, sendo 13 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares GNZ2004 e P30F33, Lavras, MG.

⁽²⁾ Considerando a produtividade de 10,15 t ha⁻¹.

⁽³⁾ Média das cultivares BR105 e BR126 com irrigação suplementar, respectivamente, sendo 5,1 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares, Sete Lagoas, MG.

⁽⁴⁾ Média de cinco cultivares, sendo 5,9 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares.

⁽⁵⁾ Phillips & Lessman (1972), citados por Gamboa (1980), sendo 9,1 t ha⁻¹ a média de produtividade das cultivares.

Contudo, os totais de nutrientes acumulados pelas cultivares GNZ2004 e P30F33, nas partes aéreas das plantas e os totais de nutrientes exportados, nos grãos por tonelada de grãos produzidos, foram maiores que os obtidos em trabalhos realizados anteriormente (Tabelas 26 e 27).

Com relação à acumulação de nutrientes na espiga das cultivares GNZ2004 e P30F33, o potássio foi o único nutriente cujo acúmulo nas três partes que compõem a espiga (palhas, sabugos e grãos) foi crescente até o final do ciclo da cultura, quando foram atingidos os valores máximos acumulados. Esses resultados diferem dos obtidos por Andrade et al. (1975) que observaram o máximo acúmulo de potássio entre 80 e 100 dias após a emergência.

Assim, é correto afirmar que a disponibilidade adequada de potássio durante todo o ciclo da cultura do milho foi fundamental para a expressão do

potencial de produção dos genótipos utilizados neste trabalho, pois, como comentado anteriormente, as maiores produções de grãos e de MS obtidas, comparadas às observadas em outros trabalhos, devem-se aos acúmulos de MS e nutrientes nas espigas.

Com os resultados obtidos para os acúmulos totais de nutrientes nas diferentes partes da planta de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura, fica evidenciado que a espiga é o maior dreno de nutrientes na planta de milho.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para a instalação do experimento no campo, foi escolhida uma área que fosse representativa das áreas utilizadas pelos produtores que adotam altos níveis de investimento e tecnologias adequadas à obtenção de altas produtividades de grãos. O mesmo foi feito em relação ao manejo da cultura.

A adubação foi planejada considerando-se a obtenção de produtividades de grãos e de matéria seca superior às produtividades máximas obtidas por produtores que adotam alta tecnologia de produção na cultura do milho, na região Sul de Minas Gerais.

Para alguns nutrientes avaliados, os valores obtidos para o coeficiente de variação (CV%), que avalia a precisão experimental, foram considerados altos, segundo proposição apresentada por Scapin et al. (1995). Andrade et al. (1975) obtiveram também valores altos para o coeficiente de variação para os acúmulos de alguns nutrientes. Isto pode ser explicado pelo fato de que os dados obtidos para os acúmulos de alguns nutrientes tiveram muitos valores próximos de zero, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas. A utilização de mais repetições para as análises laboratoriais das amostras poderia contribuir para o aumento da precisão experimental.

Contudo, isso não compromete a precisão do experimento e os dados obtidos foram muito consistentes, refletindo a realidade de experimentos sobre acúmulo de nutrientes em plantas de milho. Além disso, neste trabalho, adotou-se um maior número de níveis do fator época de coleta das plantas (onze níveis) do que em outros trabalhos realizados anteriormente.

Algumas dificuldades ocorreram durante a condução do experimento. A retirada de plantas das parcelas quase sempre ocasionou perda de folhas inteiras ou de partes da folha. Além disso, existe a possibilidade de contato da planta cortada com o solo, principalmente quando a coleta ocorre em períodos

chuvosos, o que pode contaminar a amostra, não sendo seguro afirmar que a lavagem das plantas em água corrente remova todos os eventuais vestígios de solo das plantas coletadas. Seria pertinente, em outros trabalhos semelhantes a serem realizados posteriormente, a revisão da metodologia de retirada das plantas da área experimental.

As curvas de marcha de absorção de nutrientes obtidas nas condições de realização deste trabalho diferem das obtidas em outros trabalhos. Observa-se que, de modo geral, as cultivares GNZ2004 e P30F33 acumulam nutrientes até estádios mais tardios do ciclo da cultura e em grandes quantidades. Com isso, pode-se inferir que, para alguns nutrientes, notadamente N, P, K e Mg, o manejo da fertilização do solo deve possibilitar a disponibilidade desses elementos até os estádios finais do ciclo da cultura, quando o objetivo for a obtenção de altas produções de grãos e matéria seca.

O fato de, para alguns nutrientes analisados, os totais extraídos pelas plantas terem sido maiores que as quantidades fornecidas nas adubações de plantio e de cobertura permite inferir que, quando se almejam altas produtividades, o manejo da fertilização do solo deve considerar a restituição desses elementos ao solo para as safras posteriores.

A seqüência decrescente de acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas observada corrobora com as obtidas em outros trabalhos realizados anteriormente com cultura do milho, ou seja, $N > K > P > Ca > Mg > S > Zn > Mn > Cu > B$.

O nutriente acumulado em maior quantidade nas folhas, nos colmos, nas palhas das espigas foi o K, seguido pelo N. Já nos grãos e nos sabugos das espigas de milho, o nutriente acumulado em maior quantidade foi o N, seguido pelo K. Observa-se que, nas partes vegetativas das plantas de milho, o K foi o elemento mais acumulado. Entretanto, no grão, que é a parte da planta de milho que exporta grandes quantidades de MS e nutrientes das áreas de cultivo, o N é o

nutriente acumulado em maior quantidade. Assim, a adequada e equilibrada fertilização da cultura do milho com esses dois nutrientes é fundamental para a obtenção de altas produções com a cultura.

As épocas de ocorrência do máximo acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas de milho observadas neste trabalho permitem sugerir o período entre os 65 e os 85 dias após a emergência como adequado para a amostragem de folhas para análise do teor da maioria dos nutrientes nas folhas.

As cultivares tiveram boa capacidade de produção com a adoção de níveis de adubação acima dos sugeridos em tabelas de recomendação de adubação que constam em literaturas comumente consultadas para a cultura do milho, como a 5ª aproximação da CFSEMG (CFSEMG, 1999) e o boletim 100 do IAC de Campinas (Cantarella et al., 1996).

Entretanto, somente com os dados dos totais de matéria seca e de nutrientes acumulados em plantas adubadas com uma única dose de fertilizantes, não se pode afirmar que os resultados obtidos são os máximos possíveis de serem alcançados pelos híbridos analisados. Assim, estudos posteriores com doses de nutrientes diferentes das utilizadas poderiam determinar a máxima dose econômica e a dose máxima à qual os genótipos responderiam em produtividade.

Pesquisas poderiam ser realizadas posteriormente, visando analisar a resposta da cultura do milho a fertilizações via solo, fertirrigação ou via foliar, realizadas em épocas diferentes das atualmente adotadas, ou seja, no plantio e em cobertura, até o estágio de 8 a 9 folhas totalmente expandidas.

6 CONCLUSÕES

Cultivares de milho acumulam matéria seca, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco e cobre até próximo à maturidade fisiológica, quando são obtidos os acúmulos máximos.

A cultivar GNZ2004 acumula maiores quantidades de matéria seca, N, P, Mg e S nas partes aéreas das plantas do que a cultivar P30F33.

Os acúmulos de matéria seca, nitrogênio, fósforo, magnésio e enxofre, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho, seguem curvas lineares durante o ciclo da cultura.

Plantas de milho acumulam quantidades mínimas de boro, cobre, manganês e zinco nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, sendo os valores máximos acumulados obtidos a partir de 100 dias após a emergência.

Plantas de milho acumulam nutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem decrescente de acúmulo: N>K>P>Ca>Mg>S>Zn>Mn>Cu>B.

As curvas de absorção de nutrientes obtidas com as cultivares GNZ2004 e P30F33 seguem padrões semelhantes aos observados em outros trabalhos.

As folhas das plantas de milho acumulam matéria seca, N, P, K, Mg e S até um ponto de máximo, situado entre o final do florescimento e o terço inicial do período de enchimento de grãos, ocorrendo, posteriormente, um período de perdas desses nutrientes pelas folhas até a maturidade fisiológica.

O nutriente acumulado em maior quantidade nos grãos e nos sabugos de milho é o N, seguido pelo K. Nas folhas, colmos e palhas, o comportamento é o inverso, sendo o K o nutriente mais absorvido.

As quantidades de nutrientes necessárias para produzir uma tonelada de grãos de milho são: 22,3 a 27,7 kg de N; 5,3 a 5,8 kg de P; 21,3 a 23,2 kg de K; 3,6 a 3,9 kg de Ca; 2,4 a 3,5 kg de Mg; 1,3 a 1,9 kg de S; 0,0009 kg de B; 0,019 a 0,020 kg de Cu; 0,042 a 0,046 kg de Mn; 0,100 a 0,194 kg de Zn.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELANA, B. O.; MILBOURN, G. M. The growth of mayze. II. Dry matter partition in three maize hybrids. **Journal Agriculture Science**, Cambridge, v. 78, n. 1, p. 73-78, Feb. 1972.

ANDRADE, A. G. DE; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. DE e SARRUGE, J. R. Acumulação diferencial de nutrientes em cinco cultivares de milho (*Zea mays*). Crescimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz**, Piracicaba, v. 32, p. 115-149, 1975.

ARNON, I. **Mineral nutrition of mayze**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452 p.

BALCO, L. G. & RUSSEL, W. A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, 72(5):723-32, 1980.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 120 p. (Boletim Técnico, 9).

BASSO, L. H.; REICHARDT, K. Acúmulo de matéria seca e de nitrogênio em milho cultivado no período de inverno com aplicação de nitrogênio no solo e via de água de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1361-1373, dez. 1995.

BEAUCHAMP, E. G.; KANNENBERG, L. W.; HUNTER, R. B. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 2, p. 418-422, Mar./Apr. 1976.

BLACK, J. M.; BLACKMAN, G. E. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. The role of light factor in limiting growth. **Annals of Botany**, London, v. 23, p. 131-141, 1959.

BLACKMAN, G. E.; HUDGSON, G. L. An analysis of the influence of plant density on the growth of *Vicia faba*. II. The significance of competition for light in relation to plant development in different densities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 8, n. 23, p. 195-219, 1957.

BORKERT, C. M. Micronutrientes na planta. In: BULL, L. T.; ROSOLEM, C. A. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de**

adubação. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.

BROWN, J. C. & BELL, W. D., 1969. Iron uptake dependent upon genotypes of corn. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 34:99-101.

BROWN, J. C.; CLARK, R. B. Differential response of two maize inbreds to molybdenum stress. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 38, n. 2, p. 331-333, Mar./Apr. 1974.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.

CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho – fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafós, 1993. p. 147-196.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E.; OLIVEIRA de. 13. Ceres In. RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1996. p. 43-47. (IAC. Boletim Técnico, 100).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Nutrição e adubação: seja doutor do seu milho. **Arquivo do Agrônomo Potafos**, Piracicaba, n. 2, set. 1995.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa – MG, 1999. 359 p.

CRAWFORD, T. W.; RENDIG, V. V.; BROADBENT, F. E. Sources, fluxes and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology**, Lancaster, Rockville, v. 70, n. 6, p. 1654-1660, June 1982.

DAYNARD, T. B.; TANNER, J. W.; HUME, D. J. Contribution of stalk soluble carbohydrates to grain yield in corn (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v. 9, n. 6, p. 831-834, Nov./Dec. 1969.

DECARO, S. T.; VITTI, G. C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELLO, W. J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista de Agricultura**, Piracicaba, **58**(1-2): 25-36, 1983.

DECHEN, A. R. Micronutrientes; funções nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1988. p. 111-132.

DUNCAN, W. G.; HATFIELD, A. L.; RAGLAND, J. L. The growth and yield of corn. II. Daily growth of corn kernels. **Agronomy Journal**, v. 57, p. 221-223, 1965.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FARQUHAR, G. D.; WETSELAAR, R.; FIRTH, P. M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize. **Science**, Washington, v. 203, n. 4386, p. 1257-1258, Mar. 1979.

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. de A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 34, n. 9, p. 1691-1698, 1998.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) par Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FREIRE, J. C.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. H.; CAMARGO, J. G. Influência do enxofre na produção de matéria seca do milho. **Agros**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 35-46, 1972

FURLANI, P. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C. e SILVA, W. J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 22, p. 223-229, set. 1977.

GABRIELSEN, E. K. Effects of different chlorophyll concentrations of photosynthesis in foliage leaves. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 1, n. 1, p. 5-37, Jan. 1948.

GALLO, J. R.; HIROCE, R.; DE MIRANDA, L. T. A análise foliar na nutrição do milho. I. Correlação entre análise das folhas e produção. **Bragantia**, Campinas, v. 27, n. 15, p. 177-186, abr. 1968.

GALLO, J. R.; IGUE, T.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; MIRANDA, L. E. C. Influência do uso contínuo de fertilizantes na nutrição mineral do milho híbrido Iac Hmd/6999B. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 15., Campinas, 1975. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 245-254.

GAMBOA, A. **La fertilización del maíz**. Berna, Instituti Internacional de la Potassa, 1980. 72p. (Boletim IIP, 5).

GORSLINE, G. W.; THOMAS, W. I. E BAKER, D. E., 1964. Inheritance of P, K, Mg, Cu, B, Zn, Mn, Al, Fe concentration by corn (*Zea mays L.*) leaves and grain. **Crop Science**, 4:207-210.

GUILHERME, L. R. G.; VALE, F. R.; GUEDES, G. A. Fertilidade do solo: Dinâmica e disponibilidade de nutrientes. Lavras: ESAL/FAEPE, 1995. 171 p.

HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, n. 2, p. 145-148, Mar./Apr. 1962.

HAY, R. E.; EATLEY, E. B.; DETURK, E. E. Concentration and translocation of nitrogen compounds in the corn plant (*Zea mays*) during grain development. **Plant Physiology**, Rockville, v. 28, n. 4, p. 606-621, 1953.

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

HUBER, D. M.; ARNY, D. C. Interactions of potassium with plant disease. In: INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON POTASSIUM IN AGRICULTURE, 1985, Atlanta. **Proceeding...** Madison: American society of agronomy/Crop science society of America, Soil Science Society of America, 1985. p. 467-488.

HUSBERTI, J. A. F°. Avaliação de germoplasma de milho (*Zea mays, L.*) em relação a densidades de plantio e níveis de fertilizantes. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, 1972. 152p. (Tese de doutoramento).

JONES, W. J.; HUSTON, H. A. Composition of maize at various stages of its growth. **Indiana Agricultural Experiment Station Bulletin**, Indiana, 1914. 175 p.

KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 9/16, p. 1409-1417, 1987.

KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**. 80:232-242, 1988.

KRUG, C. A. O milho no mundo. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, SP, 1966. p. 11-19.

LAUCHLI, A.; PFLUGER, R. Potassium transport through plant cell membranes and metabolic potassium in plants. In: CONGRESS INTERNATIONAL OF THE POTASH INSTITUTE, 11., 1978, Bern. **Proceedings...** Bern: International Potash Institute, 1978. p. 111-163.

LOUÉ, A. Estudo comparativo das exigências minerais de algumas variedades de milho híbrido. **Fertilité**, Paris, v. 20, p. 22-32, 1963.

LUTZ, J. A., JR, GENTER, C. F. & HAWKINS, G. W., 1972. Effects of soil pH on element concentration and uptake by maize. I: P, K, Ca, Mg and Na. **Agronomy Journal**. 64:581-583.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F. & BRASIL SOBR°, M. O. C., 1974. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. Liv Pioneira editora, São Paulo, 727 pp.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo-SP: CERES, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. & CROCOMO, O. J. O potássio e a planta. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R., ed. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da potassa e fosfato, Instituto internacionalç da potassa, 1982. p.95-162.

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

MEHLA, R. S.; SINGH, T. A. Comparison of dry matter and nutrient accumulation in hybrid and composite maize. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v. 25, n. 3, p. 370-377, Sept. 1980.

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

MONTEITH, J. L. The photosynthesis and transpiration of crop. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 2, n. 1, p. 1-14, 1966.

MULLINS, G. L.; BURMESTER, C. H. Potassium uptake by crops during the season. In: SYMPOSIUM ON POTASSIUM NUTRITION IN PLANTS, 1996, Indianapolis, In: OOSTERHUIS, D. M.; BERKOWITZ, G. A. (Ed) **Frontier in potassium nutrition: new perspectives on the effect of potassium on crop plant physiology**. Potash & Phosphate Institute, 1996. Cap. 15, p. 123-132.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. Nutrição e adubação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **O milho no Paraná**. Londrina, 1982. p. 83-104. (IAPAR. Circular, 29)

NEPTUNE, A. M. L. **Estudos sobre adubação e diagnose foliar do milho (*Zea mays* L.)**. 1966. 167 p. Tese (Cátedra) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

NEPTUNE, A. M. L.; NAKAGAWA, J.; SCOTTON, L. C.; SOUZA, E. A. Efeitos de doses não eqüidistantes de N, P, K nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção de milho (*Zea mays* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 39, p. 917-941, 1982.

NEPTUNE, A. M. L. O magnésio como nutriente para as culturas. In: SEMINÁRIO SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: Situação atual e perspectivas na agricultura, 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Manah, 1984. p. 74-77.

OBREZA, T. A.; RHOADS, F. M. Irrigated corn response to soil-test índices and fertilizer nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 3, p. 701-706, May/June 1988.

OLSON, R. A. & LUCAS, R. E., 1967. Fertility requeriment: secondary and micronutrients. IN: Pierre, W. H. et al. (eds). **Advances in corn production**:

principles and practices. The Iowa State University Press. Ames, Iowa., p. 285-230.

OVERMAN, A. R.; WILSON, D. M.; VIDA, W.; ALLAN, M. N.; PERRY JUNIOR, T. C.; Model for partitioning of dry matter and nutrients in corn. **Journal of plant nutrition**. New York, v.18, n.5, p. 959-968, 1995.

PAVAN, M. A.; MIYAZAMA, M. Disponibilidade do manganês no solo: dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 285-289, set./dez. 1984.

POLLMER, W. G.; EBERHARD, D.; KLEIN, D.; DHILLON, B. S. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. **Crop Science**, Madison, v. 19, n. 1, p. 82-86, Jan./Feb. 1979.

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

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Potafós: informações agrônomicas**, n. 103, arquivo do agrônomo n. 15, setembro de 2003.

RODRIGUEZ, M. S. P. **Varietal differences in maize in the uptake of nitrogen and translocation of the grain**. 1977. 167 p. Tese (Doutorado) - Cornell University, Cornell.

SANTOS, H. L.; BAHIA FILHO, A. F. C.; MAGNAVACA, R.; SILVA, J.; MURAD, A. M.; PACHECO, E. B. Ensaio de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do milho em Minas Gerais. II. Avaliação da nutrição do milho pela análise foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 10, p. 47-51, 1975 (Série Agronomia).

SAYRE, J. D. Mineral accumulation in corn. **Plant Physiology**, Rockville, v. 23, n. 3, p. 267-281, July 1948.

SAYRE, J. D. Mineral nutrition of corn. In Sprague, G. F., ed. **Corn and corn improvement**. New York, Academic Press, Inc., Publ., 1956. p. 293-414.

SCAPIN, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 683-686, maio 1995.

SCHREIBER, H. A.; STAMBERRY, C. O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row numbers at various growth stages. **Science**, Washington, **135**:1.135-6, 1988.

SILVA, W. J. da; MONTOJOS, J. C.; PEREIRA, A. R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 360-365, abr. 1974.

SMYTH, T. J.; BASTOS, J. B. Adubação fosfatada para milho e caupi em Latossolo Amarelo álico do trópico úmido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 11, p. 259-264, nov. 1985.

SOARES, E.; BOARETO A. E.; LIMA, L. A. Efeito da adição de enxofre na cultura do milho. **Revista de agricultura**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 341-350, dez. 1983.

STEWART, B. A.; PORTER, L. K. Nitrogen-sulfur relationships in whwat (*Triticum aestivum*, L.), corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 267-271, Mar./Apr. 1969.

STIPP, S. R.; YAMADA, T. Nutrição e adubação do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 44, p. 3-6, dez. 1988.

SUMNER. M. E.; FARINA, M. P. W. Phosphorus interaction with other nutrients and lime in field cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v. 5, p. 201-236, 1986.

TANNER, P. D. The effect of molybdenum on maize seed quality. **Rhodesian Journal of Agricultural Research**, Salisbury, v. 17, n. 2, p. 125-129, 1979.

TUKEY JUNIOR, H. B. The leaching of substances from plants. **Ann. Rev. plant physiology**, **21**:305-24, 1970.

TUKEY, H. B.; TUKEY JUNIOR, H. B. & WITTEWER, S. H., 1958. Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radioisotopes. *Proc Amer. Soc. Hort. Sci.*, 71:496-506.

ULHOA, A. M. C. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargil, 1982. 66 p.

VASCONCELLOS, C. A.; BARBOSA, J. V. A.; SANTOS, H. L. dos; FRANÇA, G. E. de. Acumulação de massa seca e de nutrientes por dois híbridos de milho com e sem irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 8, p. 887-901, ago. 1983.

VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período de inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.33, n.11, p.1835-45, 1998.

VILLACHICA, H.; CABREJOS, O. Efecto de la cal, nitrogeno y manganesco en el rendimiento y la concentración de nutrimentos en el maiz. **Turrialba**, San Jose, v. 24, n. 3, p. 319-326, jun./sept. 1974.

VITTI, G. C. O enxofre na agricultura; situação atual, perspectivas e sugestões. In: SEMINÁRIOS SOBRE FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: situação atual e perspectivas na agricultura, 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Manah, 1984. p. 98-105.

VITTI, G. C. Enxofre do solo. In: BULL, L. T.; ROSOLEM, C. A. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 129-173.

WARNOCK, R. E., 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays L.*) in relation to phosphorus – reduced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:765-769.

WETSELAAR, R.; FARQUHAR, G. D. Nitrogen losses from tops of plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 33, p. 263-302, 1980.

WOODRUFF, J. R.; MOORE, F. W.; MUSEN, H. L. Potassium, boron, nitrogen, and lime effects on corn yield and earleaf nutrient concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, 79(3):520-4, 1987.

8 ANEXOS

ANEXO A

Pág.

TABELA 1A. Quadrado médio e significância dos efeitos linear, quadrático e cúbico da regressão para os acúmulos de matéria seca (MS), nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), na parte aérea considerando dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2006. **141**

TABELA 2A. Quadrado médio e significância dos efeitos linear, quadrático e cúbico da regressão para os acúmulos de manganês, zinco, boro e cobre, na parte aérea considerando dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2006.. **142**

TABELA 3A Valores percentuais dos acúmulos de nutrientes nas plantas de milho, considerando a média de dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras, MG, 2006.

FIGURA 1A Porcentagem de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) acumulados na parte aérea de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras – MG, 2006.

FIGURA 2A Porcentagem de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) acumulados na parte aérea de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras – MG, 2006.

FIGURA 3A Porcentagem de boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) acumulados na parte aérea de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras – MG, 2006.

Tabela 1A. Quadrado médio e significância dos efeitos linear, quadrático e cúbico da regressão para os acúmulos de matéria seca (MS), nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), na parte aérea considerando dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	Quadrado médio						
		MS	N	K	P	S	Ca	Mg
EF	10							
Efeito linear	1			682300**	55999**		30233**	
Efeito quadrático	1			36979 ^{NS}	3711**		1362**	
Efeito cúbico	1			17414 ^{NS}	34 ^{NS}		1149**	
C x EF	10							
GNZ2004								
Efeito linear	1	5400368541**	611748**			3351**		9452**
Efeito quadrático	1	55528450**	87 ^{NS}			3,26 ^{NS}		226**
Efeito cúbico	1	148053584**	1020 ^{NS}			52**		0,7 ^{NS}
P30F33								
Efeito linear	1	4129410616**	419504**			2092**		6542**
Efeito quadrático	1	26298642**	9683**			47**		0,2 ^{NS}
Efeito cúbico	1	63141218**	257 ^{NS}			133**		170**
Resíduo	63	1610491	641,10	11353	100	4,57	69,21	21,2

** - $P \leq 0,01$; * - $P \leq 0,05$; NS - não significativo.

EF = Estádios fenológicos; C = Cultivares; C x EF = Interação cultivares x estádios fenológicos.

Tabela 2A. Quadrado médio e significância dos efeitos linear, quadrático e cúbico da regressão para os acúmulos de manganês, zinco, boro e cobre, na parte aérea considerando dois híbridos de milho, em função dos estádios fenológicos da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	Quadrado médio			
		Manganês	Zinco	Boro	Cobre
EF	10				
Efeito linear	1	4,1*			
Efeito quadrático	1	0,2*			
Efeito cúbico	1	0,1**			
C x EF	10				
GNZ2004					
Efeito linear	1		19,2**	0,069**	0,340**
Efeito quadrático	1		5,6**	0,011**	0,027**
Efeito cúbico	1		1,5**	0,003**	0,005**
P30F33					
Efeito linear	1			0,031**	0,2876**
Efeito quadrático	1			0,006**	0,0173**
Efeito cúbico	1			0,002*	0,004**
Resíduo	63	0,008045	0,073945	0,000447	0,000267

** - $P < 0,01$; * - $P < 0,05$; NS – não significativo.

EF = Estádios fenológicos; C = Cultivares; C x EF = Interação cultivares x estádios fenológicos.

Tabela 3A. Valores percentuais dos acúmulos de nutrientes nas plantas de milho, considerando a média de dois híbridos (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Estádio fenológico*	D.A.E.	%									
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
0	11	0,8	0,4	0,4	0,5	0,3	0,8	0,4	0,4	0,7	0,2
1	29	14,1	5,2	8,5	10,7	6,0	11,6	10,3	5,0	10,7	2,8
2	44	34,7	17,2	29,4	39,7	23,3	35,9	45,1	16,5	39,8	12,0
3	56	42,7	18,0	87,3	47,2	39,6	24,8	52,8	28,3	39,5	17,8
4	65	47,4	22,7	61,3	43,7	21,9	35,9	47,4	35,4	46,0	17,3
5	71	43,0	20,3	52,1	46,6	29,0	41,8	58,3	21,0	54,3	13,7
6	85	72,8	44,9	73,2	84,4	62,6	84,4	93,9	42,3	96,6	25,5
7	92	67,8	45,3	70,1	92,6	75,3	62,5	78,7	38,3	78,1	25,0
8	102	78,2	53,1	67,1	94,0	63,6	81,4	627,9	35,3	89,6	26,4
9	125	100,0	100,0	97,3	100,0	99,7	100,0	45,3	100,0	100,0	73,2
10	138	97,8	96,4	100,0	90,9	100,0	85,2	100,0	95,0	90,2	100,0

* Classificação segundo Fancelli (1986).

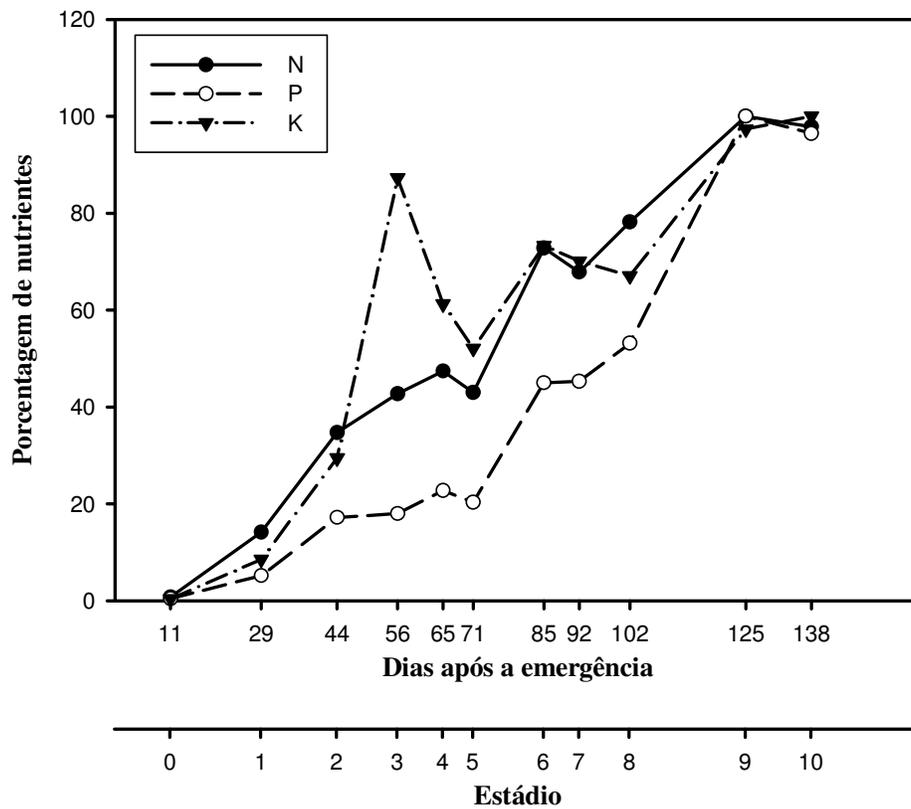


Figura 1A Porcentagem de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) acumulados na parte aérea de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras – MG, 2006.

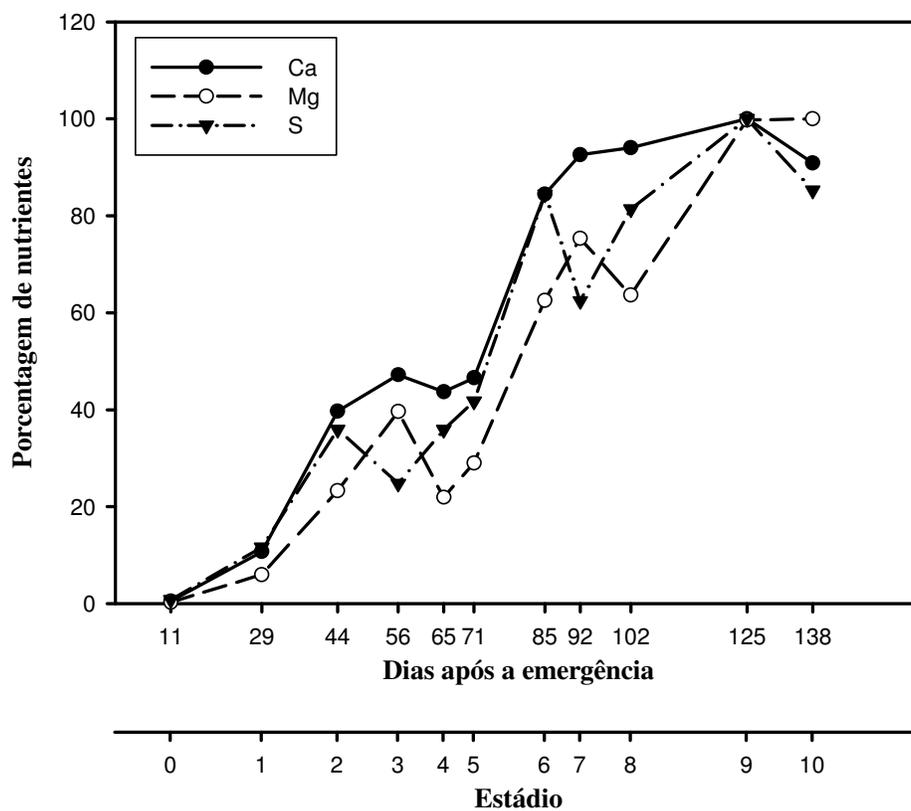


Figura 2 A Porcentagem de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) acumulados na parte aérea de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras – MG, 2006.

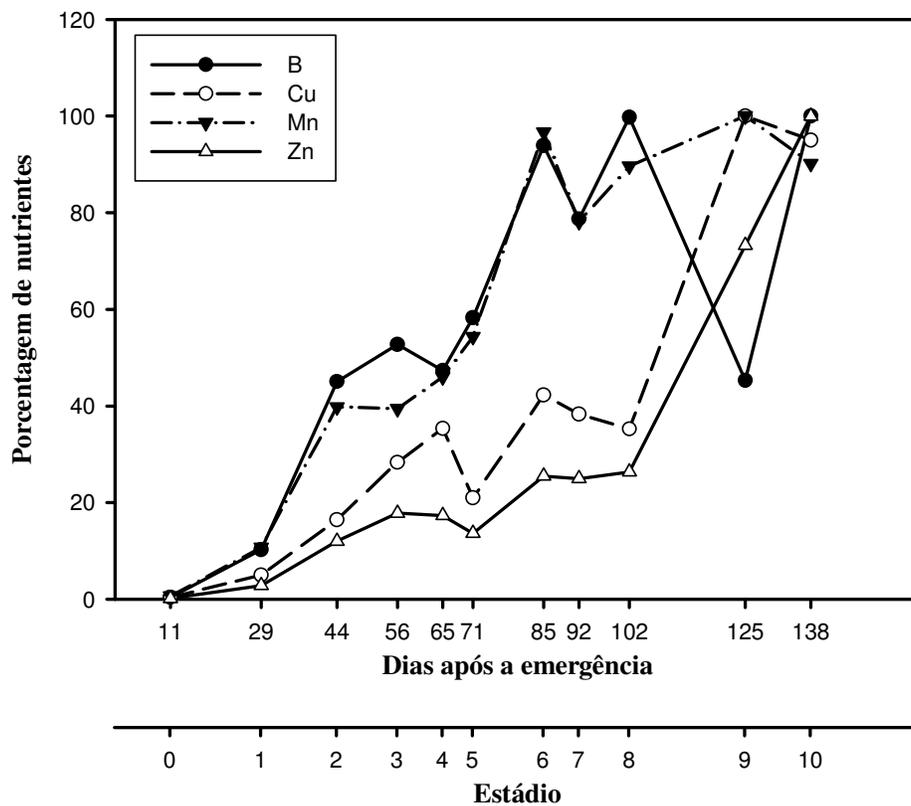


Figura 3 A Porcentagem de boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) acumulados na parte aérea de dois híbridos de milho (GNZ2004 e P30F33), em função dos estádios fenológicos da cultura (dias após a emergência – D.A.E.). UFLA, Lavras – MG, 2006.