

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E EFICIÊNCIA
DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CULTURA DO
MILHO**

Viviane Cristina Modesto
Zootecnista

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E EFICIÊNCIA
DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CULTURA DO
MILHO**

Viviane Cristina Modesto

Orientador: Prof. Dr. William Natale

Coorientadores: Henrique Antunes de Souza

Léon-Etienne Parent

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

2014

Modesto, Viviane Cristina
M691d Diagnose da composição nutricional e eficiência de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho / Viviane Cristina Modesto. -- Jaboticabal, 2014
iii, 55 p. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: William Natale

Banca examinadora: José Frederico Centurion, Liliane Maria Romualdo

Bibliografia

1. *Zea mays*. 2. Fertilizantes revestidos. 3. Variáveis biométricas. 4. Variáveis fisiológicas. 5. Análise de dados composicionais. 6. Conceito de balanço nutricional em tecidos. 7. DRIS. 8. Interação entre nutrientes. 9. Nível Crítico. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.84

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

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VIVIANE CRISTINA MODESTA – Nasceu em 12 de fevereiro de 1981, na cidade de Andradina – SP. Como acadêmico, concluiu o curso de graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal – SP em dezembro de 2005. Iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal – SP em agosto de 2011. Durante o mestrado, foi bolsista da CAPES. De julho a dezembro de 2013 foi bolsista do programa Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP), realizando estágio na Université Laval, Québec, Canadá, junto ao Departament des Sols et de Génie Agroalimentaire. Na vida acadêmica publicou diversos resumos em anais de eventos, além de artigos científicos em periódicos com corpo editorial nacional e internacional.

“Para tudo há um tempo, para cada coisa há um momento debaixo do céu” (Ecl 3,1)

Aos meus amados pais, Alício Modesto e Josefa Cavalcante Modesto, por sempre me apoiarem e incentivarem em todas as etapas da minha vida, e pelo exemplo de humildade e dedicação para com a família.

OFEREÇO E DEDICO

A Deus

AGRADEÇO E LOUVO SEMPRE

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, o filho de Deus, por me guiar, estendendo sempre sua mão nos momentos difíceis, me dando saúde e coragem para enfrentar os obstáculos.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal pela oportunidade oferecida.

A CAPES, pela concessão da bolsa durante mestrado sem a qual seria impossível a realização do projeto e do curso de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. William Natale e ao meu co-orientador Dr. Henrique Antunes de Souza pela orientação, dedicação, ensinamentos, confiança, amizade e paciência que tanto contribuíram para a minha formação profissional.

À Sra. Marisa Natale, pelo apoio, incentivo, conselhos e paciência em todos os momentos, especialmente durante o Curso de Francês e ao longo de minha estadia no Canadá.

Au Dr. Léon-Etienne Parent pour tout ce qu'il m'apris au cours de mon stage de recherche, je veux lui remercier l'opportunité, l'attention et l'accueil à l'Université Laval;

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. José Frederico Centurion, Prof^a. Dr^a. Andréia da Silva Meyer e, membros da banca de defesa da dissertação Prof. Dr. José Frederico Centurion e Prof^a. Dr^a. Liliane Maria Romualdo pelas valiosas contribuições para o trabalho.

A todos os docentes do Curso de Pós-graduação em Agronomia da FCAV/Unesp, pela atenção e pelos conhecimentos transmitidos, os quais contribuíram para a minha formação profissional;

Aos pesquisadores da EMBRAPA/CNPC Dr^a. Hévila Oliveira Salles Figueiredo e Dr. Roberto Cláudio Fernandes P. Pompeu pelo auxílio e ensinamentos.

A todos que participaram da equipe de trabalho do Prof. Dr. William Natale.

Aos amigos Danilo Eduardo Rozane e Daniel Angelucci de Amorim pela convivência harmoniosa, conselhos e ensinamentos.

Aos meus grandes amigos de graduação e mestrado, Aluísio, Daily, Juliana, Márcio e Vanessa pelo carinho e amizade sincera.

Aos amigos de Sobral, em especial a Awdrea, Eliz, Keley, Marcos, Nadiana, Sueli, pela ajuda, amizade.

Aos amigos de Québec, em especial ao Augusto, Mateus, Matheus, Marília, Melina, Paulina e ao Prof. Dr. Júlio Alberto Nitzke, pela amizade e companheirismo incondicionais.

Aux collègues Michaël Leblanc et Nicolas Samson, pour l'accueil très gentil et sympathique et aussi pour la patience;

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos pelo auxílio e incentivo, em especial à Sra. Célia Regina Francisco Muniz, à Sra. Cláudia Campos Dela Marta e ao Sr. Dejair Lucio da Silva.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação e aos funcionários da Biblioteca da FCAV/Unesp pela presteza, atendimento e auxílio;

Aos funcionários da Embrapa/CNPC pelo auxílio durante a condução do experimento em Sobral.

Aos meus irmãos, sobrinhos, amigos e colegas de pesquisa, que estando presentes ou não, sempre torceram pelo meu sucesso e sempre me incentivaram durante esta caminhada;

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigada!!!

Sumário

| | Página |
|---|--------|
| LISTA DE TABELAS | xii |
| LISTA DE FIGURAS | xv |
| | |
| CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS | 01 |
| Introdução Geral | 01 |
| Revisão de Literatura | 03 |
| A cultura do Milho | 03 |
| Fertilizantes Nitrogenados na Cultura do Milho | 04 |
| Avaliação do Estado Nutricional | 06 |
| Referências | 08 |
| | |
| CAPÍTULO 2 – RELAÇÕES BIOMÉTRICAS, FISIOLÓGICAS E ACÚMULO DE NUTRIENTES NO MILHO SUBMETIDO À FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO CULTIVADO NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO | |
| Resumo | 14 |
| Abstract | 14 |
| Introdução | 15 |
| Material e Métodos | 16 |
| Resultados e Discussão | 20 |
| Conclusões | 28 |
| Referências | 28 |
| | |
| CAPÍTULO 3 – DIAGNÓSTICO DO BALANÇO NUTRICIONAL PARA A CULTURA DO MILHO NA REGIÃO DE QUÉBEC | |
| Resumo | 33 |
| Abstract | 33 |

| | |
|--------------------------|----|
| Introdução | 34 |
| Material e Métodos | 39 |
| Resultados | 39 |
| Discussão | 47 |
| Conclusões | 49 |
| Referências | 49 |

LISTA DE TABELAS**Capítulo 2 – Relações biométricas, fisiológicas e acúmulo de nutrientes no milho submetido à fontes e doses de nitrogênio cultivado na região do Semiárido brasileiro**

| Tabela | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Propriedades químicas do solo da área experimental antes da implantação do ensaio. | 17 |
| 2 | Propriedades granulométricas do solo da área experimental antes da implantação do ensaio. | 18 |
| 3 | Resumo da análise de variância para os parâmetros altura, altura de inserção da espiga, número de folhas, diâmetro do colmo, índice SPAD, matéria verde total, matéria seca total e eficiência agronômica, em função de fontes e doses de nitrogênio. | 20 |
| 4 | Resumo da análise de variância para os parâmetros clorofila a, b, total e carotenóides em função de doses de nitrogênio. | 24 |
| 5 | Resumo da análise de variância para os teores foliares de macronutrientes nas | |

| | | |
|---|--|---------------|
| | plantas de milho, em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura. | 26 |
| 6 | Resumo da análise de variância para os teores foliares de micronutrientes nas plantas de milho, em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura. | 27 |
| Capítulo 3 – Diagnóstico do balanço nutricional para a cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.) na região de Québec | | |
| Tabela | | Página |
| 1 | Partição da sequência binária dos nutrientes do milho, baseada em conhecimento prévio e análises bi-plot. | 41 |
| 2 | Balanço de nutrientes-padrão para dados de produção de milho do Québec, Canadá. | 44 |
| 3 | Comparações entre os dados das relações DRIS convertidos em balanço de nutrientes-padrão elaborados para grãos de milho em Québec. | 46 |
| 4 | Influência da adição de N na produção de grãos e distância de Mahalanobis (ns = não significante) em experimentos com doses de N em 2011 e 2012. | 46 |

- 5 Média da concentração de nutrientes em folha diagnóstica no estágio VT em dois experimentos com doses de nitrogênio comparados com valores de nível crítico para nitrogênio (Benton Jones et al. 1991).

47

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2 - Relações biométricas, fisiológicas e acúmulo de nutrientes no milho submetido à fontes e doses de nitrogênio cultivado na região do Semiárido brasileiro

| Figura | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Dados meteorológicos durante o período experimental. | 17 |
| 2 | Número de folhas das plantas de milho, em função de fontes e doses de adubos nitrogenados aplicados em cobertura. | 21 |
| 3 | Índice SPAD de milho, em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura. | 22 |
| 4 | Eficiência agrônômica da produção de massa de matéria seca em plantas de milho, em função de doses e fontes de adubo nitrogenado aplicado em cobertura. | 23 |
| 5 | Clorofila b em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura. | 25 |
| 6 | Teores foliares de zinco nas plantas de milho, em função de doses e fontes de | 27 |

adubo nitrogenado aplicado em cobertura.

Capítulo 3 – Diagnóstico do balanço nutricional para a cultura do milho (*Zea mays* L.) na região de Québec

| Figura | | Página |
|--------|--|--------|
| 1 | Bi-plot mostrando as relações entre nutrientes em dados de produção de milho do Québec, Canadá. | 40 |
| 2 | Relação entre a distância de Mahalanobis (preditor) e a produção de milho, mostrando limites de 11.840 kg grãos ha ⁻¹ e 4,21 como valor crítico da distância. | 43 |

CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução Geral

O Brasil, nas últimas décadas, tem-se destacado na agricultura mundial, resultado de incentivos à agricultura e em tecnologia, que atuam aumentando a estabilidade dos sistemas de produção existentes, bem como maximizando sua eficiência, reduzindo custos e melhorando a produtividade (KONZEN; ALVARENGA, 2007).

Dentre os cereais, o milho é um dos mais cultivados, pois possui papel preponderante para as relações sócioeconômicas, em várias regiões do mundo, constituindo-se na principal fonte de energia diária de alimentação, como por exemplo, no Nordeste do Brasil para muitas famílias que vivem no Semiárido (MEIRA, 2006), onde a safra 2012/2013 está estimada em aproximadamente 12 milhões de toneladas por hectare (AGRIANUAL, 2013).

O milho é considerado uma fonte agrícola com diversas aplicações, além do consumo *in natura*, e os derivados de seu processamento podem ser utilizados na indústria alimentícia, fabricação de bebidas, indústria química, mecânica, rações e produção de biocombustíveis (CARDOSO et al., 2011). No Brasil, grande parte da produção destina-se à fabricação de rações para os setores de suínos e aves (CONAB, 2013b).

Apesar do alto potencial de rendimento, a produtividade média do milho no Brasil ainda é baixa ($4,6 \text{ t ha}^{-1}$) (AGRIANUAL, 2013), fato decorrente das condições climáticas desfavoráveis em algumas regiões, utilização de variedades ou híbridos não adaptados a determinadas condições edafoclimáticas, uso de sementes não certificadas e ao manejo incorreto de corretivos e/ou fertilizantes, principalmente nitrogenados, o que implica em baixo aproveitamento do N pela cultura (MEIRA, 2006).

A adubação nitrogenada é a que mais influencia o rendimento de grãos e a que mais onera o custo de produção da cultura; sua eficiência pode ser afetada pela perda do nutriente através da lixiviação, escoamento superficial, erosão,

volatilização de amônia e desnitrificação. O maior ou menor índice de perda pode ser contornado pela forma de aplicação, manejo e fonte do nutriente a ser utilizada (QUEIROZ et al., 2011).

Buscando o aumento da eficiência da adubação nitrogenada e o equilíbrio no fornecimento de nutrientes às plantas, estudos utilizando fertilizantes com tecnologias agregadas têm sido desenvolvidos, com o objetivo de reduzir custos e aumentar o rendimento da cultura.

A fim de se predizer o correto requerimento nutricional e detecção das desordens nutricionais das culturas são empregadas algumas ferramentas como as análises de tecido vegetal e de solo; no entanto, a interpretação dos valores-padrão de nutrientes, comparados aos resultados analíticos, é controversa, baseadas em suposições fracas e tendenciosas, pois, não levam em consideração os efeitos de sinergismo, antagonismo e neutralidade dos nutrientes no tecido vegetal, ou seja, a interação entre os elementos (PARENT, 2011).

Com o intuito de evitar redundância na interpretação dos dados da análise de solo e de tecido vegetal, especialistas propuseram técnicas de transformação da razão log isométrica (*ilr*) (EGOZCUE; PAWLOWSKIGLAHN, 2005). Em nutrição de plantas, esta técnica de transformação de dados mostrou-se não tendenciosa e a mais adequada na interpretação de dados analíticos (PARENT, 2011 e PARENT et al., 2012).

Assim, as hipóteses do presente estudo são: para o primeiro experimento, a de que adubos com tecnologias agregadas promovam incrementos na produção de milho no Semiárido brasileiro em níveis maiores que as médias obtidas; e, para o segundo experimento, a hipótese é a de que as interpretações das análises de tecidos vegetais, utilizando o conceito *ilr*, sejam mais adequadas que as interpretações decorrentes do uso de metodologias convencionais.

Com isso, os objetivos dos estudos foram avaliar os efeitos do uso de doses e fontes de fertilizantes nitrogenados com tecnologias agregadas na cultura do milho na região do Semiárido brasileiro; e, analisar resultados de teores de nutrientes de plantas, através de transformações da razão log, em tecido vegetal na cultura do milho na região de Québec, Canadá.

REVISÃO DE LITERATURA

A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie da família das gramíneas, nativa da América, mais provavelmente da região onde se situa o México, representando um dos principais cereais cultivados e consumidos no mundo, em virtude de seu alto potencial produtivo, composição química e valor energético. O Brasil encontra-se na terceira posição como produtor mundial (MAPA, 2013), com a safra 2012/2013 estimada em 70 milhões de toneladas por hectare. (AGRIANUAL, 2013).

Este cereal vem sendo utilizado tradicionalmente na alimentação, seja para o consumo humano na forma de grãos ou derivados, seja na alimentação animal, onde está presente, principalmente, na cadeia produtiva de suínos e de aves, na forma de grãos, representando 70% do milho produzido no mundo e entre 70 - 80% do milho produzido no Brasil (MIRANDA ET al., 2012). Atualmente, devido ao incremento da atividade pecuária no país e aos investimentos em pesquisa, o consumo na forma de silagem tem-se mostrado promissor.

Na tentativa de suprir as regiões Sul e Nordeste, fortemente afetadas pela ausência de chuvas e seca extrema na primeira safra 2011/2012 e devido ao bom clima da região Sul na segunda safra, além do estímulo à comercialização devido à queda da produção dos EUA e Argentina, também afetados pelos fenômenos climáticos, houve aumento da produção de milho segunda safra, atingindo recorde de 71,7% em relação ao ano anterior, num total de 22 milhões de toneladas exportadas (CONAB, 2012b).

Na América do Norte, os Estados Unidos dominam o mercado produtor e exportador de milho, com extensa área cultivada (USDA, 2013). O Canadá ocupa a 8ª posição (INDEX Mundi), e sua produção concentra-se nas províncias de Ontário, Québec e, em menor proporção, em Manitoba. A produção estimada para a safra 2012/2013 é de 9 t ha⁻¹ e, embora com ligeiro aumento de área em relação à safra passada, o rendimento deverá ser inferior à média devido às condições menos favoráveis como as da última safra. Além disso, as exportações também devem

diminuir devido à recuperação da produção dos EUA e à queda mundial dos preços do milho (A.A.F.C., 2013).

Fertilizantes nitrogenados na cultura do milho

O balanço nutricional é um fator importante, o qual interfere na produção do milho, na atividade de microorganismos e na melhoria da qualidade do solo (OKUMURA et al., 2013). Dentre os nutrientes, o nitrogênio é o mais requerido pela cultura do milho e possui importantes funções no metabolismo da planta, como constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromos, clorofila e atua diretamente na expansão e divisão celular (MARSCHNER, 2011).

O manejo da adubação nitrogenada deve suprir a demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a percentagem de recuperação do nitrogênio e minimizar o impacto no ambiente pela redução de perdas (Fernandes e LIBARDI, 2007), para tal deve-se conhecer as épocas em que o nutriente é mais exigido pela cultura, permitindo assim, corrigir as deficiências que possam ocorrer no desenvolvimento das plantas.

A adubação nitrogenada é a que mais influencia a produtividade do milho, visto que os solos não suprem a demanda da cultura por nitrogênio, ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta (PÖTTKER; WIETHÖLTER, 2004). No último ano houve aumento na comercialização de fertilizantes nitrogenados no Brasil em torno de 6,6%, devido à alta demanda por milho na entressafra no Centro-Oeste e Sul do país, com acréscimos de importação de fertilizantes de 10,1% (ANDA, 2013).

A crescente preocupação com a poluição do meio ambiente, proveniente do manejo inadequado de fertilizantes nitrogenados, especialmente a poluição dos recursos hídricos por nitrato e da atmosfera por óxido nitroso, tem estimulado a busca de sistemas de manejo que aumentem a eficiência da adubação, com melhor aproveitamento do N pelo milho (DUETE et al., 2008).

O manejo da adubação nitrogenada deve satisfazer ao requerimento da cultura, com o mínimo de risco ambiental. Para tanto, é necessário que a recomendação da dose de adubo nitrogenado seja a mais exata possível (AMADO et al., 2002), pois, dificilmente a quantidade de N requerida para a cultura será

suprida somente pelo solo, havendo necessidade de se usar outras fontes suplementares deste nutriente, especialmente através de adubos.

Dentre os fertilizantes nitrogenados, a uréia é um dos mais utilizados, devido ao seu baixo custo relativo, alta solubilidade em água e boa absorção dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Quando aplicada ao solo, é transformada em amônia (NH_3) pela ação da enzima uréase, a qual é produzida pelos microorganismos encontrados em quase todos os solos; no entanto, quando a uréia é aplicada ao solo sem incorporação, ocorrem altas perdas de nitrogênio para a atmosfera sob a forma de amônia, contribuindo para menor eficiência no seu aproveitamento (SILVA et al., 2011).

A busca de novas tecnologias de uso dos adubos, visando ao rendimento operacional e diminuição de perdas, tem gerado o desenvolvimento de produtos como os fertilizantes recobertos com substâncias orgânicas, inorgânicas ou resinas sintéticas; Essas substâncias podem ser poliamidas, enxofre elementar ou, ainda, polímeros das mais diversas naturezas (QUEIROZ et al., 2011). Estes fertilizantes atuam liberando os nutrientes de forma gradual ou inibindo a atividade da enzima uréase no solo.

Quando aplicada ao solo, a uréia comum pode sofrer hidrólise em dois ou três dias, e as taxas dependem da temperatura e umidade do solo, bem como da quantidade e da forma de aplicação. A ação de inibidores da atividade da urease no solo, como o NBPT [N-(n-butil) triamida tiofosfórico], pode durar de 3 a 14 dias, dependendo das condições de aplicação, reduzindo a transformação do N contido sob a forma de uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] para a forma de amônia (NH_3) (SILVA et al., 2011).

Silva et al. (2011) observaram diminuição nos níveis de N nas folhas do milho nas menores doses de uréia tratada com NBPT, em relação a uréia comum, fato que pode ser explicado devido a esse tipo de uréia disponibilizar o N lentamente; no entanto, quando se aplicou a uréia comum nas maiores doses, houve redução no tamanho das folhas, devido a maior perda por volatilização. Ressalta-se, ainda, que apesar do custo elevado em comparação com a uréia comum, a uréia tratada com NBPT pode proporcionar maior margem de lucro devido a diminuição das perdas por volatilização de amônia, justificando seu uso.

Avaliação do estado nutricional

A análise de tecido foliar é um método muito utilizado para auxiliar no diagnóstico das exigências nutricionais na agricultura e, sua interpretação deve ser precisa para se predizer as respostas à aplicação de fertilizantes, principalmente quando a planta apresenta deficiência severa (van den DRISSCHE, 1974). Apresenta como vantagem, em relação à análise de solo, pois somente uma pequena fração dos nutrientes encontrados no solo está em formas prontamente disponíveis às plantas (CAPÓ et al., 2010).

Os nutrientes contidos nas folhas devem estar em quantidades adequadas e equilibradas para que se atenda aos requisitos de produtividade e qualidade das culturas (MALAVOLTA et al., 1997). Quando o suprimento de um elemento essencial da planta é severamente limitado, ou em excesso, o crescimento ou a produção da cultura é afetado e sintomas de deficiência ou toxicidade podem aparecer em folhas, frutos, brotos e caule (BOULD, 1968).

O crescimento e a produtividade das culturas podem ser consideravelmente afetados, mesmo sem a apresentação de sintomas de deficiência, quando o teor de um nutriente na planta está abaixo do nível crítico. Sob essas condições, a análise de folha torna-se um método prático do diagnóstico da deficiência nutricional (BOULD, 1968). Contudo, a análise de tecido foliar nem sempre consegue corrigir as deficiências em tempo hábil (VARGAS et. al., 2012).

Os conceitos mais utilizados para a interpretação da análise do tecido vegetal são o nível crítico de nutrientes (BATES, 1971), o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1971) e o Diagnostico da Composição Nutricional (CND) (PARENT; DAFIR, 1992).

O nível crítico é o método mais utilizado na interpretação de análise química de plantas. É um método univariado, pois leva em consideração somente o teor de nutrientes da folha e não o balanço de nutrientes (SERRA et al., 2012). No entanto, o valor crítico aproximado para a interpretação de deficiência, suficiência ou excesso pode ser afetado pelas interações entre nutrientes e pela idade da planta (BATES, 1971).

No sistema DRIS, desenvolvido por Beaufils (1971), a concentração de nutrientes é determinada através da análise química de plantas, sendo analisadas proporções duplas, permitindo a avaliação do balanço nutricional da planta, colocando os nutrientes em ordem relativa, do mais deficiente para o mais em excesso. O DRIS, quando comparado ao nível crítico, mostrou ser melhor, pois leva em conta as relações duplas expressas em teores de nutrientes (WALWORTH; SUMNER, 1987).

O CND utiliza transformações log centralizadas para a análise dos dados composicionais, a fim de evitar interpretações tendenciosas (AITCHINSON, 1986; FILZMOSER; HRON, 2011; PAWLOWSKY-GLAHN et al., 2006; PAWLOWSKY-GLAHN; BUCCIANTI, 2011). No entanto, na utilização de razão log centralizadas pode ocorrer perda de informação, levando a variações nos índices de alguns nutrientes (PARENT et al., 2013). A transformação da razão log *ilr*, desenvolvida por Egozcue (2003), evita essas redundâncias na interpretação de dados. Esta técnica tem sido a mais indicada para descrever os padrões naturais em diversas áreas, dentre elas a nutrição de plantas (PARENT, 2011; PARENT et al., 2012)

Desse modo, a utilização de técnicas de interpretação de análises de tecidos utilizando a transformação da razão log isométrica *ilr*, a fim de reduzir as correlações espúrias, aliadas a utilização de curvas características de operação do receptor (curvas ROC), que são técnicas utilizadas na interpretação de resultados na área biológica, proporcionam um diagnóstico do equilíbrio nutricional coerente e sem redundância na interpretação.

REFERÊNCIAS

AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA. Canada: **Outlook for Principal Field Crops**. 2013. Disponível em: <http://www.agr.gc.ca/eng/industry-markets-and-trade/statistics-and-market-information/by-product-sector/crops/crops-market-information-canadian-industry/canada-outlook-for-principal-field-crops/canada-outlook-for-principal-field-crops-2013-10-16/?id=1382366483303>> Acesso em: 29 de out. de 2013.

AITCHISON J. **The Statistical Analysis of Compositional Data**. London: Chapman and Hall; 1986.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZU, J.; AITA, J. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 241-248, 2002.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL 2013. São Paulo: Agra FNP, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA. **Mercado de fertilizantes**. 2013. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>> Acesso em: 18 de Nov. de 2013.

BATES, T. E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science**, Baltimore, v. 112, p. 116-130, 1971.

BEAUFILS, E. R. Physiological diagnosis - a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fertilizer Society of South African Journal**, v.1, p.1-30, 1971.

BOULD, C. Leaf analysis as a diagnostic method and advisory aid in crop production. **Experimental Agriculture**, Dundee, v. 4, p. 17-27, 1968.

CAPÓ, B. G.; LANDRAU JR., P.; ALERS, S. A.; RIERA, A.. The method of foliar diagnosis as applied to sugarcane. **Agricultural Experiment Station**, Univ. of Puerto Rico. Rio Piedras, Bull 123, 47p. 2010.

CARDOSO, W. S.; PINHEIRO, F. A.; MACHADO, F. P.; BORGES, J. T. S.; RIOS, S. A. Indústria do Milho. In: Milho Biofortificado. Borém, A. e Rios, S. A. Embrapa Milho e Sorgo, 2011, 211p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Safra 2011/2012.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_27_09_50_57_boletim_portugues_agosto_2012.pdf> Acesso em: 20 de Nov. de 2013a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perspectivas para a Agropecuária, Volume 1, Safra 2013/2014.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_13_14_55_32_perspectivas_da_agropecuaria_2013.pdf> Acesso em: 20 de Nov. de 2013b.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TREVILIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Viabilidade econômica de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada na cultura do milho em Latossolo Vermelho Eutrófico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 175-181, 2009.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V., MATEU-FIGUERAS, G., BARCELÓ-VIDAL, C. Isometric logratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 35, p. 279-300, 2003.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 37, p. 795-828, 2005.

FERNANDES, F. C. F e LIBARDI, P. L. PERCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO DE NITROGÊNIO PELO MILHO, PARA DIFERENTES DOSES E PARCELAMENTOS DO FERTILIZANTE NITROGENADO. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 285-296, 2007.

FILZMOSE P, HRON K. Robust statistical analysis. **In:** Pawlowsky-Glahn V, Buccianti A (eds.) *Compositional data analysis: Theory and Applications*. NY: John Wiley and Sons, 2011. p. 57-72.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Cultivo do Milho: Fertilidade de solos, Adubação Orgânica. **Embrapa Milho e Sorgo**, 3ª edição, 2007.

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

MARSCHNER, P. 2011. **Mineral Nutrition of Higher Plants**, Third Edition. Academic Press.

MEIRA F. A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 52 f.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>> Acesso em: 27 de Nov. de 2013.

MIRANDA, R. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. **Sistemas de Produção – Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo 8 ed. 2012. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_8ed/economia.htm> Acesso em: 27 de Nov. de 2013.

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 321-334, 2011.

PARENT, L. E.; DAFIR, M." A Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis,"**Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 2 (March 1) , p. 239–242, 1992.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; NATALE,W. "Nutrient Balance as Paradigm of Soil and Plant Chemometrics". **In: Soil Fertility**, R. N. Issaka, Ed., Intech, 2012, p. 83–114.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HÉBERT-GENTILE, V. "The Plant Ionome Revisited by the Nutrient Balance Concept." **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 39, 2013, p. 1-10.

QUEIROZ, A. M.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, A. A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays L.*).**Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 3, p. 257-266, 2011.

OKUMURA, R.S.; MARIANO,D. C.; ZACCHEO, P. V. C.; ALBUQUERQUE, A.; GIEBELMEIER, C. G.; LOBATO, A. K. S.; FRANCO, A. N. A.; NETO, C. O.; SALDANHA, C. M.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; SILVA, R. T. L. Efficiency of Utilization of Nitrogen Coated with Urease Inhibitor in Maize. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.16, p. 871-876, 2013.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ROJAS, E. P.; VITORINO, A. C. T. Beaufils ranges to assess the cotton nutrient status in the southern region Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 171-181, 2012.

SILVA, D. R. G.; PEREIRA, A. F.; DOURADO, R. L.; SILVA, F. P.; ÁVILA, F. W.; FAQUIN, V. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 516-523, 2011.

PAWLOWSKY-GLAHN V, BUCCIANTI A. **Compositional data analysis: Theory and Applications**. New York: John Wiley and Sons, p. 356-371, 2011.

PAWLOWSKY-GLAHN V., MATEU-FUGUERAS, G., AND BUCCIANTI A. **Compositional data analysis: Theory and Applications**. London: The Geological Society of London; 2006.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Economics Research Service 2013. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/topics/crops/corn.aspx#.UnqeELk8jIU>> Acesso em: 27 de Nov. de 2013.

VAN DEN DRIESSCHE, R. Prediction of mineral status of trees by foliar analysis. **The Botanical Review**, New York, v. 40, p. 347-394, 1984.

VARGAS, V. P.; SANGOI, L; ERNANI, P. R.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; FERREIRA, M. A. Os atributos nas folhas são mais eficientes que o n mineral no solo para avaliar a disponibilidade desse nutriente para o milho. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 245-255, 2012.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. Foliar diagnosis: a review. **Advances in Plant Nutrition**, New York, v. 539, p. 193-240, 1987.

Capítulo 2 - Relações biométricas, fisiológicas e acúmulo de nutrientes do milho submetido à fontes e doses de nitrogênio na região do Semiárido brasileiro

Resumo - A adubação nitrogenada é a prática agrícola que mais influencia o rendimento de grãos na cultura do milho e, o uso de fertilizantes com tecnologias agregadas promove o melhor aproveitamento do N pelas culturas. Assim, objetivou-se avaliar as características biométricas, os teores de clorofila, a produção de biomassa e o estado nutricional de plantas de milho, submetidas à aplicação de diferentes fontes e doses de fertilizantes nitrogenados. O ensaio foi conduzido em um Luvisolo, no campo experimental da Embrapa/CNPC, em Sobral-CE. Os tratamentos consistiram de cinco fontes de nitrogênio: uréia + NBPT; uréia + polímero; uréia + inibidor enzimático; uréia + capeamento com enxofre; e, uréia sem tecnologia agregada. Foram usadas três doses: 45; 67,5 e 90 kg de N ha⁻¹ e um tratamento adicional sem adubação nitrogenada, aplicadas em cobertura 30 dias após a semeadura. A utilização de fertilizantes nitrogenados com tecnologias agregadas promoveu maiores teores de clorofila e produção de biomassa das plantas de milho. A máxima eficiência agrônômica foi alcançada empregando-se uréia sem tecnologia agregada, uréia + inibidor enzimático e, uréia + enxofre elementar.

Palavras-chave – *Zea mays*, fertilizantes revestidos, variáveis biométrica

Abstract -The nitrogen fertilization is the agricultural practice that influences the most the grains yield in the maize culture. Together to the use of technologies the use of fertilizers promotes a better use of N by the cultures. This way, it was aimed evaluate the biometric characteristics, chlorophyll amount, biomass production, and the nutritional status of maize plants when submitted to different sources and doses of nitrogenous fertilizers. The experiment was carried out in a Luvisol, at Embrapa/CNPC Experimental Field in Sobral, CE, Brazil. The treatments were five nitrogen sources: urea + NBPT, urea + polymer, urea + enzymatic inhibitor, urea + sulfur covering, and urea without technology added. Three doses of nitrogen were

used: 45, 67,5 and 90 kg N ha⁻¹ and an additional treatment, without nitrogen fertilization, as top dressing 30 days after planting. The nitrogen fertilization combined to technology promoted higher chlorophyll contents and biomass production in the maize plants. The maximum agronomic economic efficiency was reached using urea without nitrogen fertilization, as top dressing 30 days after planting. The nitrogen fertilization combined to technology promoted higher chlorophyll contents and biomass production in the maize plants. The maximum agronomic economic efficiency was reached using urea without technology added, urea + urease inhibitor, and urea + elementary sulfur.

Key words – *Zea mays*, covered fertilizers, biometric variables

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais produzidos no mundo e o mais cultivado no Brasil, possuindo grande contraste de produtividade entre as diferentes regiões do País em decorrência da diversidade climática e do manejo da cultura (Souza et al., 2011).

A agricultura de subsistência, particularmente no caso do Semiárido brasileiro se destaca, pois gera renda e desempenha um importante papel social. Como o milho é o principal cereal cultivado nessa região, utilizado tanto na alimentação animal quanto para consumo humano, buscam-se soluções que viabilizem o uso dos adubos nitrogenados a fim de promover maior rendimento.

Os solos do Semiárido são deficientes em nitrogênio e fósforo, o que torna a produtividade da cultura limitada, sem adubação (Galvão et al., 2008), Além disso, a região Semiárida possui regime hídrico irregular, o que prejudica a absorção de N pelas plantas, provocando alterações irreversíveis, dependendo do genótipo, da severidade da carência e, do estágio de desenvolvimento da cultura (Santos & Carlesso, 1998).

Na cultura do milho, a disponibilidade de nitrogênio no solo é um fator limitante, pois, nem sempre o elemento se encontra no solo na forma disponível para a planta. O N é o nutriente mais requerido pela cultura, influenciando diretamente o

rendimento de grãos e onerando os custos de produção desse cereal (Silva et al., 2011b).

Entre as fontes de fertilizante nitrogenado disponíveis, a uréia é a mais utilizada, devido ao seu menor custo relativo, à alta solubilidade em água e à boa absorção pelas plantas dos produtos de sua hidrólise; no entanto, podem ocorrer elevadas perdas de N para a atmosfera sob a forma de amônia, contribuindo para a baixa eficiência da adubação nitrogenada (Souza et al., 2011).

Com o objetivo de melhorar o rendimento das culturas e diminuir as perdas de N, tem-se buscado novas tecnologias para a adubação nitrogenada. Uma alternativa são os adubos com tecnologias agregadas que usam o recobrimento do fertilizante por meio de substâncias orgânicas, inorgânicas ou resinas sintéticas, com a finalidade de liberar o N de forma gradual (Queiroz et al., 2011).

Diante do exposto e, devido à importância do manejo adequado dos adubos nitrogenados na cultura do milho cultivado na região Semiárida brasileira, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação do N em cobertura, empregando-se fontes com tecnologias agregadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/CNPC), situada no município de Sobral, estado do Ceará, a 3° 41' de latitude S e a 40° 20' de longitude W, com altitude de cerca de 110 metros (Inmet, 2012), durante os meses de março a junho de 2012. O clima da região, segundo o Sistema Köppen, é classificado como BShw, com estação chuvosa de janeiro a junho. A temperatura e a precipitação médias durante o período experimental foram de 28 °C e 180,4 mm, respectivamente (Figura 1) (Inmet, 2012).

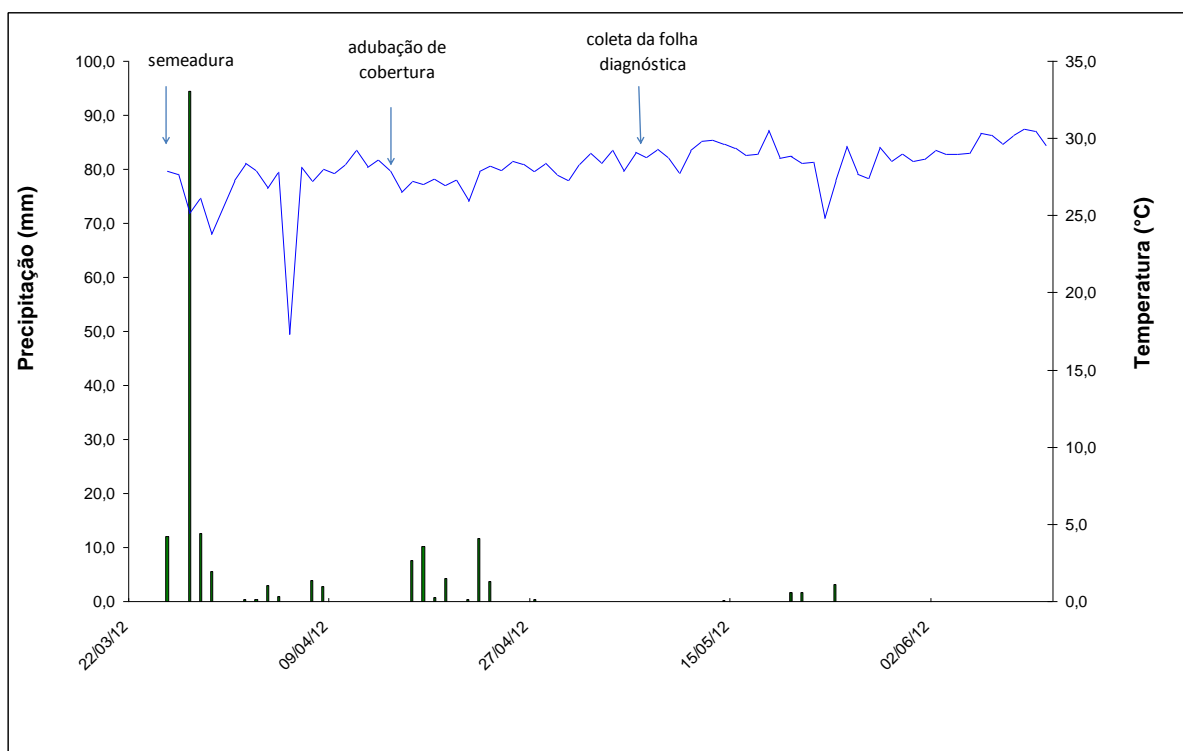


Figura 1. Dados meteorológicos durante o período experimental

O solo é classificado como Luvissole (Embrapa, 2006) que tem como principais características serem pouco profundos, com horizonte B textural e elevado potencial nutricional, em terreno suave-ondulado, cujas características químicas e físicas na camada de 0-20 cm foram avaliadas no laboratório de Análise Química e Física de Solos do Departamento de Solos e Adubos da Unesp/FCAV, segundo metodologia de Raij et al. (2001) para análise química, apresentadas na Tabela 1 e, a análise granulométrica na mesma camada, contida na Tabela 2, segundo Embrapa (2006).

Tabela 1. Propriedades químicas do solo da área experimental antes da implantação do ensaio

| pH (CaCl ₂) | M.O. g dm ⁻³ | P (resina) mg dm ⁻³ | K | Ca | Mg | H+Al | SB | T | V |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|------|-----|-------------------|-------|------------------------------------|----|
| | | | ----- mmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | % |
| 6,0 | 20 | 5 | 2,4 | 90 | 64 | 20 | 156,4 | 176,4 | 89 |
| B | Cu | Fe | | Mn | Zn | S-SO ₄ | Al | | |
| | | | ----- mg dm ⁻³ ----- | | | | | mmol _c dm ⁻³ | |
| 0,22 | 1,0 | 29 | | 11,9 | 0,3 | 2 | 0 | | |

Tabela 2. Propriedades granulométricas do solo da área experimental antes da implantação do ensaio

| Argila | Silte | Areia Fina | Areia Grossa | Classe Textural |
|--------|-------|------------|--------------|-----------------|
| 204 | 182 | 373 | 241 | Média |

As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de semeadura de 6 m de comprimento, tendo como área útil as quatro linhas centrais, desprezando 0,5 m em cada extremidade, com espaçamento entrelinhas de 0,80 m. A planta teste foi a variedade superprecoce de milho BRS Catingueiro, adaptada às condições climáticas da região do Semiárido Nordestino (Embrapa, 2004).

O preparo do solo foi realizado com uma aração (arado de discos) e duas gradagens (grade niveladora). O plantio foi realizado com plantadeira-adubadeira de três linhas. Os nutrientes foram aplicados com base na análise de solo e na tabela de recomendação de adubação para a cultura do milho, conforme Raij e Cantarella (1997), para uma produtividade esperada de 6 – 8 t ha⁻¹, que corresponde a um solo corrigido, com plantio de milho na safra 2010/2011 e, nos anos anteriores cultivado com sorgo. Assim, as doses de adubos utilizadas no plantio foram 30 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio (21% N-NH⁴⁺, 24% S-SO₄⁻²), 70 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (46% P₂O₅) e, 50 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O).

Os tratamentos foram aplicados em cobertura, sem incorporação, 10 cm ao lado das plantas, 30 dias após a semeadura do milho. Empregou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições, com os tratamentos distribuídos às unidades experimentais segundo um arranjo fatorial 5 x 3 + 1, resultante da combinação de cinco fontes de nitrogênio: uréia (45% de N); uréia + NBPT [N-(n-butyl) triamida tiofosfórico] (45% de N); uréia + polímero (43% de N); uréia + inibidor enzimático (44,6% de N + 0,4% de B + 0,5% de Cu); e uréia + capeamento com enxofre (37% de N + 17% de S), corrigidos para que todos os tratamentos recebessem a mesma dose de N. Utilizou-se três níveis de adubação nitrogenada em cobertura, ou seja, 100%, 75% e 50% da dose de nitrogênio recomendada para a cultura que foi de 90 kg ha⁻¹ de N, de acordo com Raij & Cantarella (1997), além de um tratamento adicional sem adubação nitrogenada em cobertura. Ao longo do

cultivo foi realizada a capina e a aplicação de inseticida a base de Paration Metílico, visando o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

No estágio VT (pendoamento), segundo Ritchie et al. (1993), foram avaliadas as seguintes características biométricas: altura das plantas (m), utilizando-se uma régua graduada, sendo medido do colo até o ápice da folha bandeira; diâmetro do caule (mm) a 8-10 centímetros do colo da planta, com o auxílio de um paquímetro digital; inserção da espiga (m), utilizando-se uma régua graduada, sendo medido do colo até o ponto de inserção da primeira espiga; e, número de folhas nas planta. Para essas avaliações foram tomadas cinco plantas representativas, na área útil de cada parcela.

O índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) foi avaliado com o auxílio de um clorofilômetro portátil (Minolta SPAD 502), sendo as determinações realizadas no terço central da folha da base da espiga, a mesma folha empregada para a diagnose do estado nutricional (Raij & Cantarella, 1997), em seis plantas de milho na área útil de cada parcela. Os procedimentos para a análise foliar de macro e micronutrientes seguiram as recomendações de Bataglia et al. (1983). Para clorofila total, pelo método de Arnon (1949), modificado por Linder (1974), foram utilizadas as mesmas folhas empregadas na determinação do índice SPAD. Para tanto, o extrato proveniente da filtração a vácuo foi completado para 100 mL de acetona e, em seguida, foram realizadas leituras espectrofotométricas nos seguintes comprimentos de onda: 663, 652 e 645 nm. A leitura realizada no comprimento de onda de 663 nm corresponde ao pico de maior absorção de luz pela clorofila *a* e, no comprimento de onda de 645 nm, corresponde ao pico de absorção de luz pela clorofila *b*; a leitura em 652 nm foi realizada para conferir o conteúdo de clorofila total.

Para a determinação da massa de matéria seca, foram coletadas seis plantas de cada parcela útil, as quais foram pesadas e levadas à estufa a 55 °C, até massa constante. A eficiência agrônômica foi calculada pela fórmula descrita por Fageria (1998):

$$\text{Eficiência Agrônômica} = \frac{\text{Produção em kg com adubação} - \text{Produção em kg sem adubação}}{\text{Quantidade de nutriente aplicado em kg}}$$

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade e, quando significativos, executado os desdobramentos

empregando-se o programa estatístico SAS versão 9.1 (SAS Institute Inc. 2002 – 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância referente aos parâmetros biológicos altura de plantas, altura de inserção de espiga, número de folhas, diâmetro de colmo, índice SPAD, massa verde total, massa de matéria seca total e eficiência agrônômica é apresentado na Tabela 3.

Verifica-se que houve interação significativa entre fontes e doses de nitrogênio para as variáveis número de folhas, índice SPAD e eficiência agrônômica. Além disso, na comparação entre o fatorial e a testemunha (sem nitrogênio), houve efeito significativo para o número de folhas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os parâmetros altura, altura de inserção da espiga, número de folhas, diâmetro do colmo, índice SPAD, matéria verde total (MV), matéria seca total (MS) e eficiência agrônômica (E.A.), em função de fontes e doses de nitrogênio

| Fontes de Variação | Altura | Inserção Espiga | Nº de folhas | Diâmetro de colmo | Índice SPAD | MV Total | MS Total | E.A. |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|
| | ---- m ---- | | | mm | | --- t ha ⁻¹ --- | | kg kg ⁻¹ |
| Fatorial vs testemunha | | | | | | | | |
| Teste F | 1,19 ^{ns} | 0,70 ^{ns} | 4,36* | 1,54 ^{ns} | 4,68* | 1,12 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | --- |
| A x D | | | | | | | | |
| Teste F | 0,92 ^{ns} | 0,91 ^{ns} | 5,33* | 1,15 ^{ns} | 2,27* | 1,26 ^{ns} | 0,83 ^{ns} | 2,92* |
| Adubos (A) | | | | Médias | | | | |
| Uréia + NBPT | 1,17 | 0,57 | 14,02 | 17,22 | 28,77 | 14,66 | 4,54 | 13,85 |
| Uréia + Polímero | 1,14 | 0,54 | 13,71 | 16,24 | 27,84 | 15,15 | 4,72 | 20,47 |
| Uréia + Inibidor | 1,21 | 0,58 | 14,07 | 17,76 | 29,70 | 22,35 | 13,15 | 7,13 |
| Uréia + S | 1,14 | 0,54 | 13,59 | 18,82 | 28,67 | 13,85 | 4,49 | 16,50 |
| Uréia | 1,19 | 0,56 | 13,87 | 17,89 | 26,16 | 16,02 | 4,86 | 19,72 |
| Teste F | 0,35 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 2,70 | 1,80 ^{ns} | 2,19 ^{ns} | 2,10 ^{ns} | 1,25 ^{ns} | 0,98 ^{ns} |
| Doses (D) (kg ha⁻¹) | | | | Médias | | | | |
| 45,0 | 1,19 | 0,57 | 13,83 | 16,93 | 27,13 | 15,26 | 4,82 | 13,78 |
| 67,5 | 1,17 | 0,58 | 13,89 | 17,27 | 30,02 | 18,75 | 9,96 | 23,16 |
| 90,0 | 1,15 | 0,53 | 13,83 | 17,96 | 27,54 | 15,08 | 4,61 | 9,67 |
| Teste F | 0,30 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 1,42 ^{ns} | 4,50* | 1,22 ^{ns} | 0,84 ^{ns} | 2,79 ^{ns} |
| CV (%) | 17,62 | 21,60 | 2,28 | 9,12 | 9,18 | 15,14 | 15,50 | 12,73 |

^{ns} e * - respectivamente, não significativo e significativo a 5% de probabilidade

A Figura 2 apresenta o desdobramento da interação entre fontes e doses de N para a variável número de folhas. Verifica-se diferença significativa no comportamento das variáveis, para a fonte uréia + capeamento com enxofre, cujo melhor modelo de resposta foi o quadrático, em que maior número de folhas foi obtido com a dose estimada de 65 kg de N ha⁻¹; no entanto, para o fertilizante uréia + inibidor, o melhor modelo de resposta foi o linear crescente, ou seja, o número de folhas das plantas de milho aumentou com o incremento das doses de fertilizante nitrogenado.

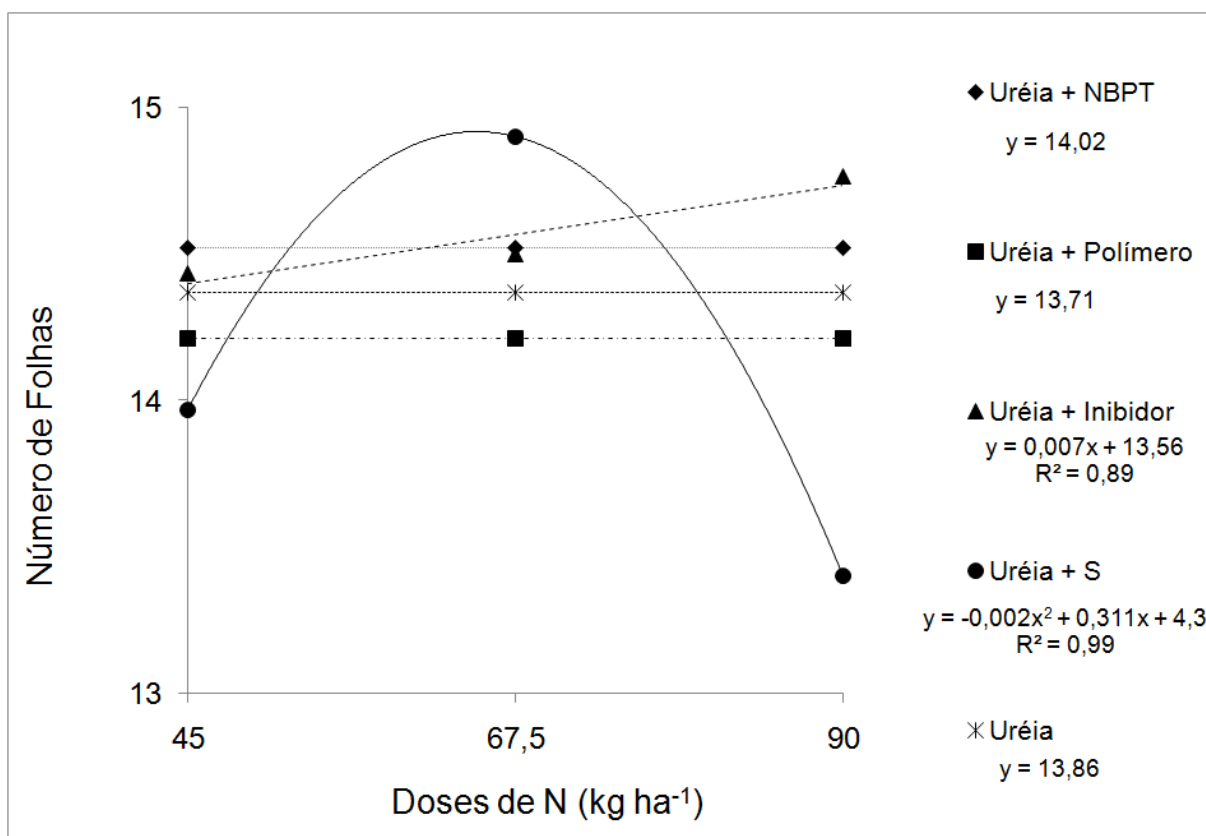


Figura 2. Número de folhas das plantas de milho, em função de fontes e doses de adubos nitrogenados aplicados em cobertura

No Brasil, de acordo com Silva et al. (2011a), a utilização de uréia com NBPT diminuiu consideravelmente as perdas por volatilização de NH₃, aumentando, assim, a eficiência dos adubos nitrogenados. O nitrogênio, bem como o enxofre, são os elementos básicos para a síntese de proteínas na cultura do milho, e seu desbalanço ocasiona prejuízos à produção (Büll et al., 1993).

Com relação ao índice SPAD, a uréia + NBPT, bem como a uréia + inibidor, apresentaram comportamento quadrático, com ponto de máxima em 65 kg ha⁻¹ de N

para ambas as fontes de nitrogênio; a uréia + polímero teve como melhor modelo de ajuste o linear crescente, apresentando os maiores valores SPAD em função do aumento das doses de N. As demais fontes não mostraram diferenças significativas (Figura 3).

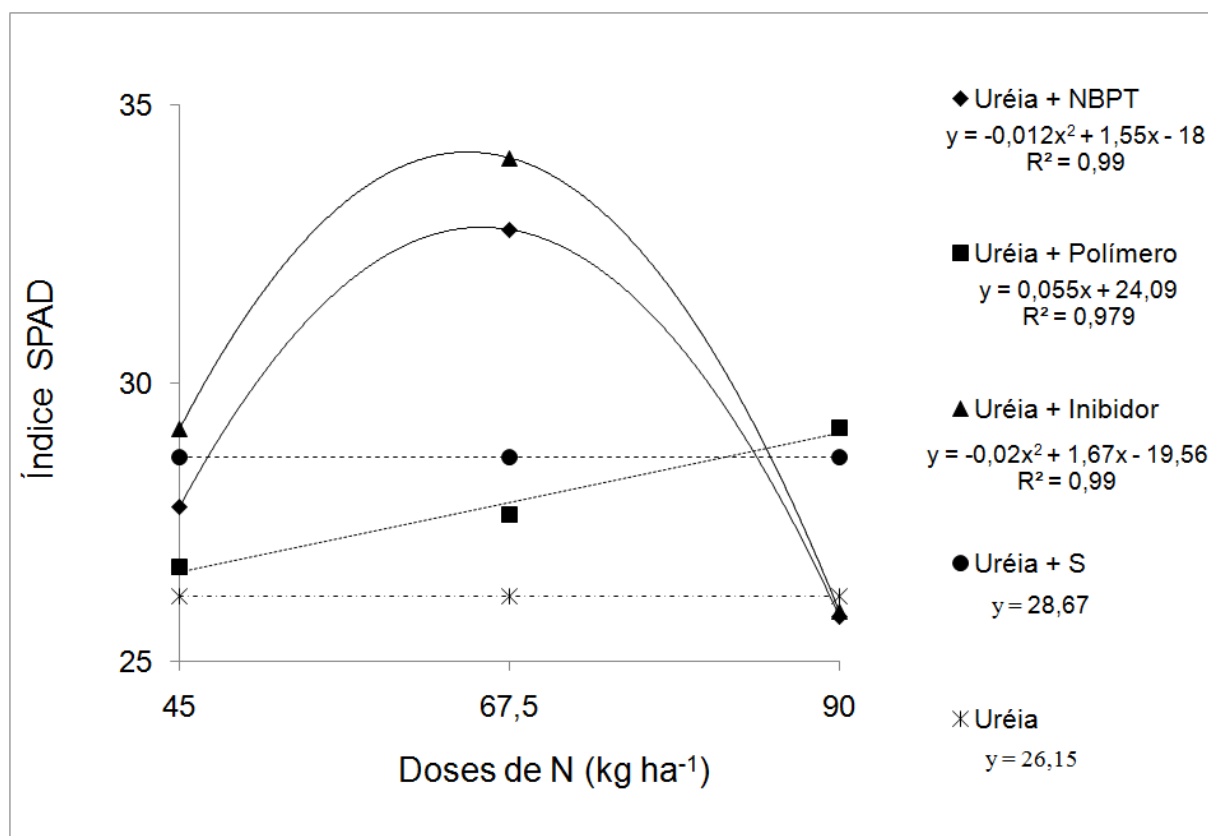


Figura 3. Índice SPAD de milho, em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura

Estes resultados destacam a importância do uso de inibidores da urease na adubação nitrogenada, retardando a hidrólise da uréia e permitindo sua maior permanência no solo (Sanz-Cobeña et al., 2011), o que resultará em um melhor estado nutricional das plantas, influenciando diretamente na divisão, expansão celular e processos fotossintéticos.

Argenta et al. (2003), utilizando um clorofilômetro portátil como indicativo do teor de N em plantas de milho, observaram aumentos na leitura SPAD e no nitrogênio foliar até a dose de 75 kg ha⁻¹ de N aplicado em cobertura. As leituras realizadas com o clorofilômetro estimam com boa precisão o teor de clorofila em

folhas de milho, apresentando a vantagem de ser um método não destrutivo, rápido e de baixo custo de manutenção do aparelho (Argenta et al., 2001).

A eficiência agrônômica para a produção de massa de matéria seca apresentou resultado significativo no desdobramento da interação doses x fontes de nitrogênio. As fontes uréia sem tecnologia agregada, uréia + NBPT, uréia + inibidor e uréia + polímero apresentaram como melhor modelo de resposta o quadrático, com pontos de máxima em 65, 66, 68 e 69, kg ha⁻¹ de N. Esses resultados corroboram os relatados por Silva et al. (2011a) que, em estudo utilizando uréia, com e sem tecnologia agregada, em diferentes doses, observaram que a uréia sem tecnologia agregada e a uréia + NBPT proporcionaram maior eficiência agrônômica na cultura do milho (Figura 4).

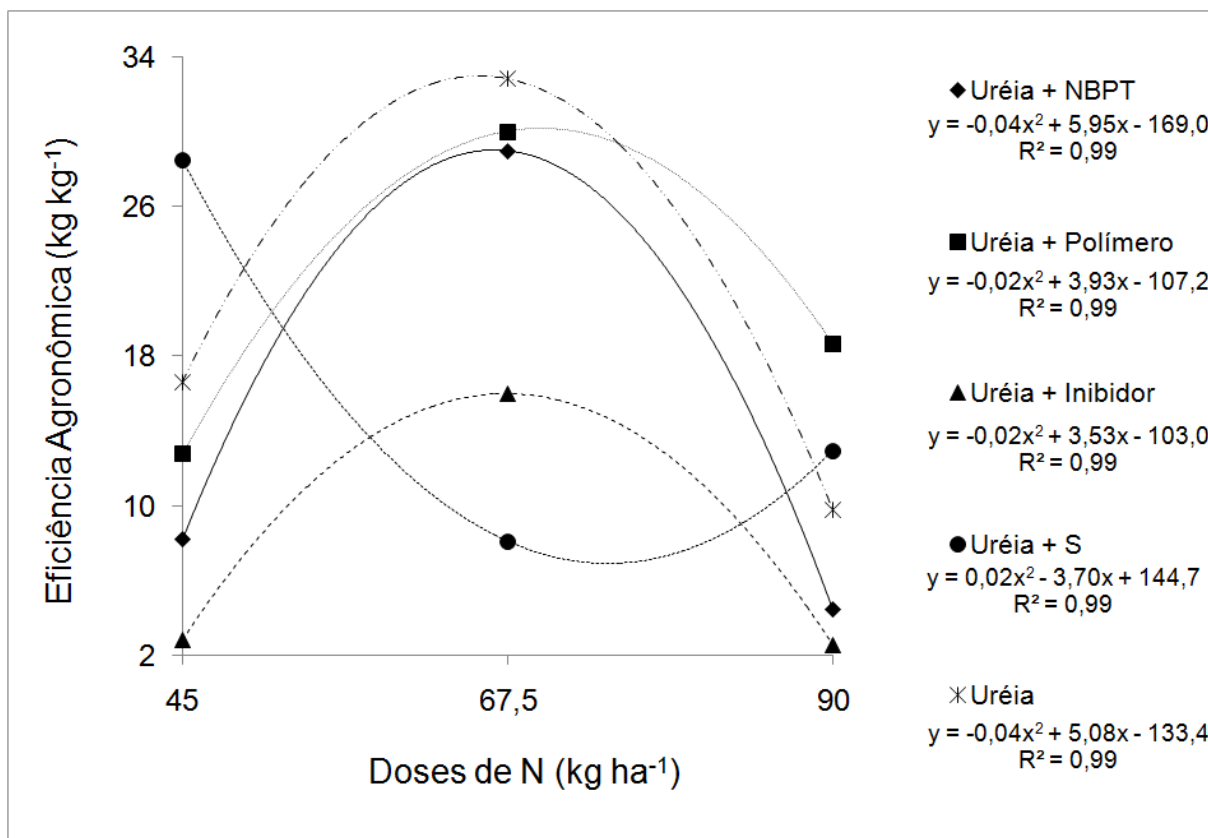


Figura 4. Eficiência agrônômica da produção de massa de matéria seca em plantas de milho, em função de doses e fontes de adubo nitrogenado aplicado em cobertura

Segundo Silva et al. (2012), a utilização de fontes solúveis de N como a uréia, na adubação do milho, promove rápida resposta da cultura em termos de produção

de biomassa, pois, o adubo disponibiliza com facilidade o nutriente para ser absorvido pelas plantas.

Na tabela 4 encontra-se o resumo da análise de variância para as variáveis clorofila *a*, *b*, total e carotenóides pelo método de Arnon (1949), modificado por Linder (1974). Observou-se efeito significativo no desdobramento da interação doses x fontes de nitrogênio para a clorofila *b*, para as fontes uréia + enxofre e uréia NBPT, em que o modelo de melhor ajuste foi o quadrático. (Figura 5). Os teores de N do tecido vegetal estão diretamente relacionados à concentração de pigmentos fotossintéticos como a clorofila e à sua atividade, sendo essencial na captação da energia solar, crescimento e desenvolvimento das plantas (Taiz & Zeiger, 2012). Fatores ambientais, como o déficit hídrico, podem ter efeito sobre a degradação de cloroplastos, causando diminuição nos teores de clorofila (Conceição et al., 1985).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para os parâmetros clorofila *a*, *b*, total e carotenóides em função de doses de nitrogênio

| Fontes de Variação | Clorofila <i>a</i> | Clorofila <i>b</i> | Clorofila Total ----- mg g ⁻¹ MF ----- | Carotenóides |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--|--------------------|
| Fatorial vs testemunha | | | | |
| Teste F | 0,08 | 0,15 | 0,02 | 1,13 |
| A x D | 2,22 ^{ns} | 2,33* | 2,26 ^{ns} | 1,66 ^{ns} |
| Adubos (A) | | | | |
| | Médias | | | |
| Uréia + NBPT | 7,88 | 2,58 | 10,45 | 451,81 |
| Uréia + Polímero | 8,20 | 2,78 | 10,97 | 488,33 |
| Uréia + Inibidor | 9,21 | 3,03 | 12,24 | 531,50 |
| Uréia + S | 9,13 | 2,93 | 12,05 | 512,43 |
| Uréia | 9,29 | 3,10 | 12,39 | 531,92 |
| Teste F | 1,44 | 1,52 | 1,47 | 1,66 |
| Doses (D) (kg ha⁻¹) | | | | |
| | Médias | | | |
| 45,0 | 8,82 | 2,93 | 11,75 | 516,63 |
| 67,5 | 9,78 | 3,20 | 12,98 | 547,55 |
| 90,0 | 7,61 | 2,52 | 10,13 | 445,41 |
| Teste F | 3,73* | 5,49 ^{ns} | 4,11* | 5,35* |
| CV (%) | 19,43 | 15,04 | 18,21 | 12,65 |

^{ns} e * - respectivamente, não significativo e significativo a 5% de probabilidade

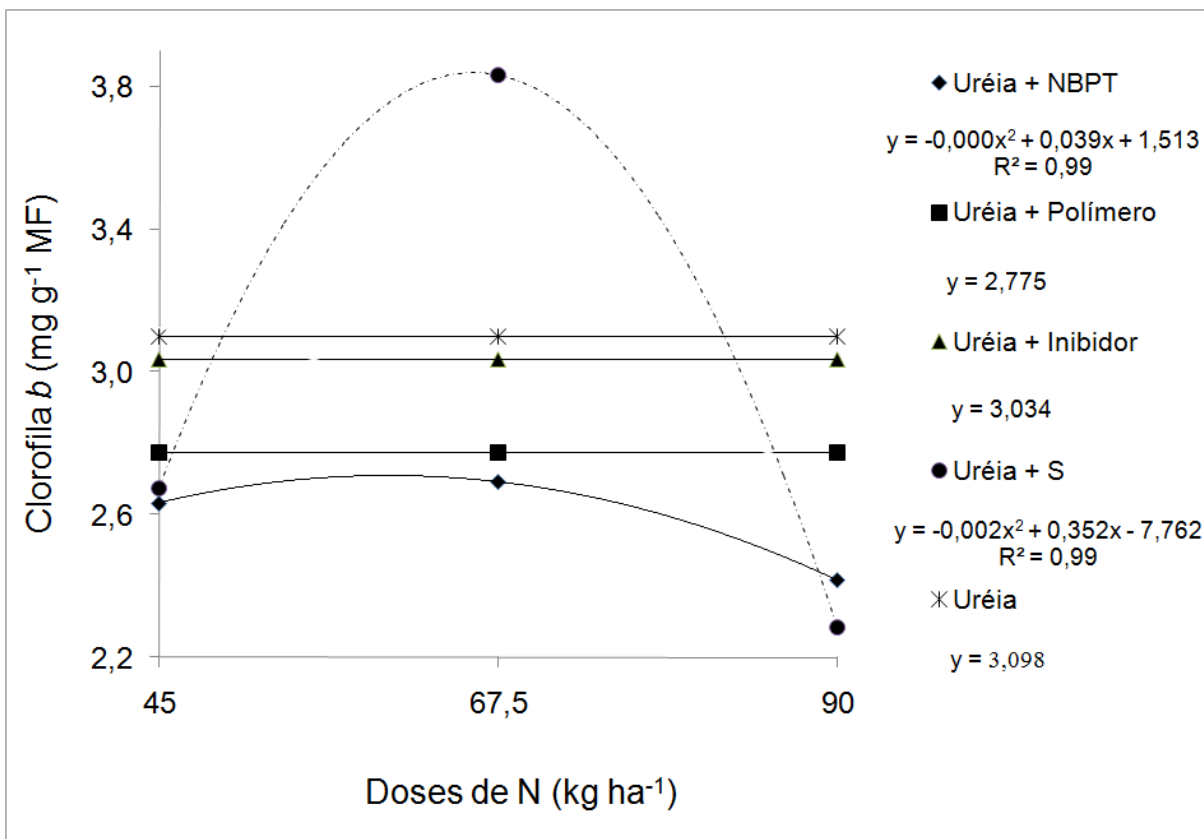


Figura 5. Clorofila *b* em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura

Com relação à diagnose foliar dos macronutrientes, observou-se resultado significativo dos elementos P e Mg para os contrastes (Tabela 5), sendo que a utilização de adubos nitrogenados proporcionou maiores teores desses nutrientes em relação a não aplicação do fertilizante. Para os adubos uréia + S e uréia convencional, verificaram-se aumento dos teores de K quando comparado aos demais fertilizantes. As outras variáveis não apresentaram resultados significativos, o que pode ser justificado pelas condições climáticas adversas ocorridas ao longo do experimento. Os macronutrientes estiveram dentro da faixa de teores considerados adequados para a cultura do milho, segundo Raij & Cantarella (1997) exceto, para o N e o S, que mostraram valores abaixo desse limite, ou seja, 35 g kg⁻¹ e 1,5 g kg⁻¹ respectivamente.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os teores foliares de macronutrientes nas plantas de milho, em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura

| Fontes de Variação | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | | | |
| Fatorial vs testemunha | | | | | | |
| Teste F | 2,80 ^{ns} | 5,49* | 0,45 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 4,70* | 2,29 ^{ns} |
| A x D | | | | | | |
| Teste F | 1,55 ^{ns} | 1,25 ^{ns} | 0,98 ^{ns} | 1,08 ^{ns} | 1,32 ^{ns} | 1,28 ^{ns} |
| Adubos (A) | | | | | | |
| | Médias | | | | | |
| Uréia + NBPT | 18,12 | 2,17 | 22,84 ^b | 2,92 | 2,84 | 1,37 |
| Uréia + Polímero | 16,99 | 2,34 | 24,34 ^{ab} | 2,79 | 2,60 | 1,26 |
| Uréia + Inibidor | 18,06 | 2,12 | 22,63 ^b | 3,03 | 2,67 | 1,29 |
| Uréia + S | 18,18 | 2,24 | 24,84 ^a | 3,14 | 2,87 | 1,25 |
| Uréia | 18,02 | 2,33 | 24,98 ^a | 2,92 | 2,60 | 1,29 |
| Teste F | 1,60 ^{ns} | 1,04 ^{ns} | 2,90* | 1,00 ^{ns} | 0,85 ^{ns} | 1,23 ^{ns} |
| Doses (D) (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| | Médias | | | | | |
| 45,0 | 17,68 | 2,27 | 23,63 | 2,83 | 2,67 | 1,25 |
| 67,5 | 18,13 | 2,19 | 24,30 | 3,07 | 2,76 | 1,33 |
| 90,0 | 17,81 | 2,26 | 23,86 | 2,98 | 2,71 | 1,29 |
| Teste F | 0,58 ^{ns} | 0,36 ^{ns} | 0,45 ^{ns} | 1,46 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 1,56 ^{ns} |
| CV% | 6,72 | 12,70 | 8,22 | 13,46 | 15,69 | 10,52 |

^{ns}, * - não significativo e significativo pelo teste F a 5%, respectivamente. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey

Com relação aos micronutrientes, observou-se efeito significativo da interação entre fontes e doses de adubos nitrogenados apenas para o zinco, ocorrendo diminuição dos teores de Zn de maneira quadrática (Figura 6). A uréia + inibidor, quando comparada à uréia+polímero, induziu aumento dos teores foliares de cobre.

Os teores dos micronutrientes estiveram dentro da faixa de suficiência, de acordo com Raij & Cantarella (1997), com exceção do Cu, que apresentou resultados inferiores a 6 mg kg⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para os teores foliares de micronutrientes nas plantas de milho, em função de doses e fontes de adubos nitrogenados aplicados em cobertura

| Fontes de Variação | mg kg ⁻¹ | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | B | Cu | Mn | Fe | Zn |
| A x D | | | | | |
| Teste F | 1,29 ^{ns} | 0,51 ^{ns} | 0,42 ^{ns} | 1,01 ^{ns} | 2,38* |
| Adubos (A) | | | | | |
| | | Médias | | | |
| Uréia + NBPT | 20,44 | 4,78 ^{ab} | 32,78 | 70,22 | 21,67 |
| Uréia + Polímero | 19,56 | 4,33 ^b | 36,11 | 70,00 | 23,39 |
| Uréia + Inibidor | 21,44 | 5,78 ^a | 32,89 | 72,11 | 22,67 |
| Uréia + S | 23,22 | 5,44 ^{ab} | 34,22 | 71,56 | 37,33 |
| Uréia | 22,00 | 5,44 ^{ab} | 36,11 | 71,89 | 24,89 |
| Teste F | 1,01 ^{ns} | 4,45* | 0,57 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 2,78* |
| Doses (D) (kg ha⁻¹) | | | | | |
| | | Médias | | | |
| 45,0 | 22,27 | 5,07 | 35,60 | 72,20 | 29,67 |
| 67,5 | 20,80 | 5,33 | 34,27 | 66,53 | 24,10 |
| 90,0 | 20,93 | 5,07 | 33,40 | 74,73 | 24,20 |
| Teste F | 0,56 ^{ns} | 0,51 ^{ns} | 0,43 ^{ns} | 2,28 ^{ns} | 0,88 ^{ns} |
| CV (%) | 20,47 | 16,51 | 18,53 | 15,61 | 16,51 |

^{ns}, *- não significativo e significativo pelo teste F a 5%, respectivamente. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey

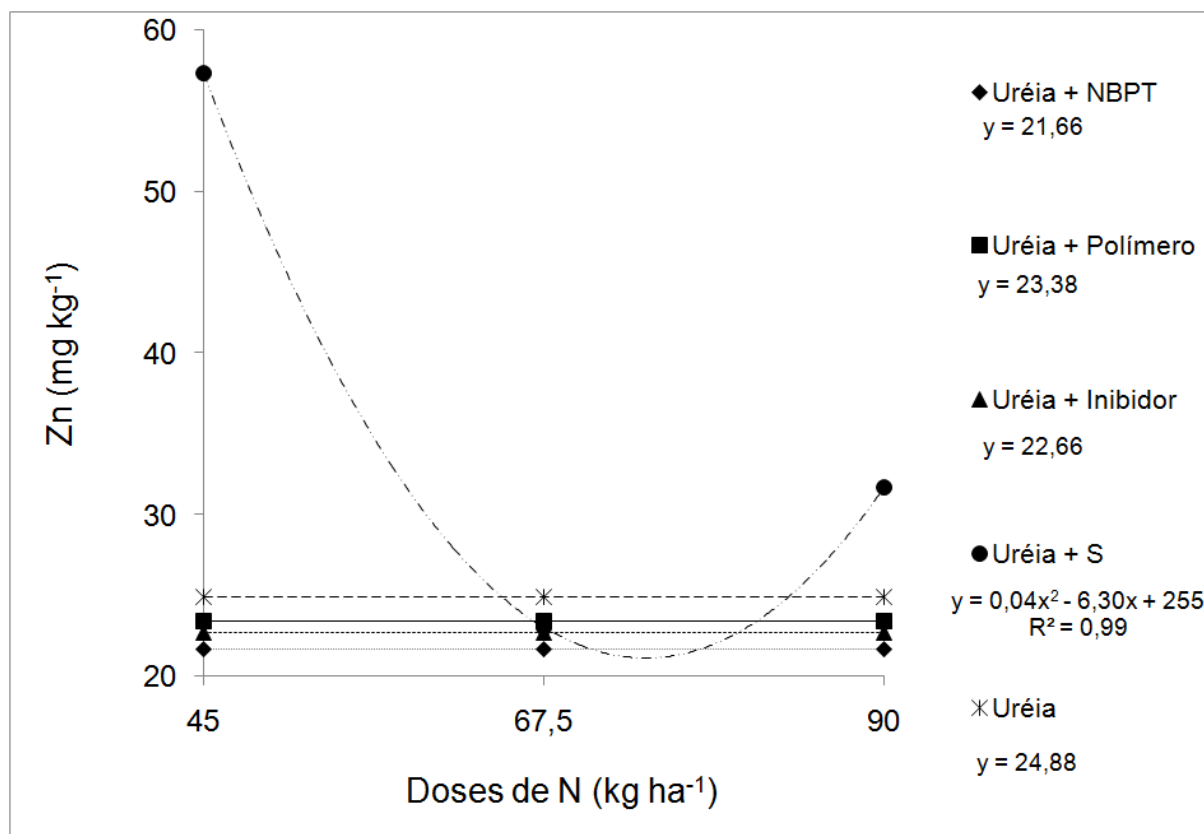


Figura 6. Teores foliares de zinco nas plantas de milho, em função de doses e fontes de adubo nitrogenado aplicado em cobertura

O aproveitamento de nutrientes, assim como a expansão foliar e o desenvolvimento das plantas, depende da absorção do nitrogênio (Epstein & Bloom, 2006); no entanto, o ano agrícola em que o experimento foi conduzido (2011/2012) apresentou, nos municípios do Ceará, índices pluviométricos muito abaixo da média e com chuvas mal distribuídas (Ipece, 2012). Considerando que a absorção de nitrogênio pelos vegetais ocorre, quase que exclusivamente por fluxo de massa, o desenvolvimento do milho como um todo foi bastante prejudicado, mesmo tendo sido empregada uma variedade adaptada às condições do Semiárido brasileiro.

4. CONCLUSÕES

1. A adubação nitrogenada, utilizando uréia + S, promoveu maior número de folhas nas plantas de milho.

2. Os adubos contendo inibidores da urease proporcionaram maiores índices SPAD na dose de 65 e 72 kg ha⁻¹ para uréia + NBPT e uréia + inibidor respectivamente.

3. A máxima eficiência agrônômica para a produção de massa da matéria seca do milho foi obtida utilizando-se uréia sem tecnologia agregada, uréia + NBPT, uréia + inibidor e uréia + polímero, nas doses de 65, 66, 68 e 69 kg ha⁻¹ de N em cobertura respectivamente.

5. REFERÊNCIAS

ARGENTA, G.; SANGOI, L. & SILVA, P R.F. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. Scientia. Agraria, Curitiba, v. 4, p. 27-34, 2003.

Argenta G.; Silva, P.R.F.; Bortolini, C.G.; Forsthofer, E.L.; Manjabosco, E.A.; Beheregaray Neto, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36. p.71-78, jan. 2001.

Arnon, D.I. Copper enzyme in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.

Bataglia, O.C.; Furlani, A.M.C.; Teixeira, J.P.F.; Furlani, P.R.; Gallo, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

Büll, L.T. Nutrição mineral do milho. In: Bull, L.T. & Cantarella, H., eds. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, Potafós, 1993, p.63-145.

Conceição, H.E.O.; Oliva, M.A.; Lopes, N.F.; Rocha Neto, O.G. Resistência à seca em seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v.20, n.9, p.1041-1050, 1985.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Tabuleiros Costeiros (Aracaju). **Catingueiro - uma variedade de milho para o Semi-árido Nordestino**. Comunicado Técnico n. 29. Aracaju, 2004. 5p.

Epstein, E.; Bloom, A. Nutrição **Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006, 401p.

Fageria, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

Galvão, S.R.S.; Salcedo, I.H.; Oliveira, F.F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.99-105, jan. 2008.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>

Acesso em 15 jun. 2012.

Ipece (Instituto de pesquisa e estratégia econômica do Ceará). **Condições de vulnerabilidade dos municípios em situação de emergência em 2012**, Informe n. 33. p. 33. Jan. 2012.

Linder, S. A proposal for the use of standardized methods for chlorophyll determinations in ecological and eco-physiological investigations. **Physiologia Plantarum**, v.32, p.154-156, 1974.

Queiroz, A.M.; Souza, C.H.E.; Machado, V.J.; Lana, R.M.Q.; Korndorfer, G.H.; Silva, A.A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays L.*). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.10, n.3, p.257-266, 2011.

Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H. & Quaggio, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284p.

Raij, B. van; Cantarella, H. 1997. Milho para grãos e silagem. In: Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico, 1997, 285 p. (Boletim Técnico, 100).

Ritchie, S.W.; Hanway, J.J.; Benson. G.O. **How a corn Plant Develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 21p.

Santos, R.F. & Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

Sanz-Conbeña, A.; Misselbrook, T.; Camp, V.; Vallejo, A. Effect of water addition and the urease inhibitor NBPT on the abatement of ammonia emission from surface applied urea. **Atmospheric Environment**, Madrid, v.45, p.1517-1524, 2011.

SAS Institute INC. 2002-2003. **Statistical analysis system**. Release 9.1. (Software). Cary. USA.

Silva, A.A.; Silva, T.S.; Vasconcelos, A.C.P.; Lana, R.M. Q. Aplicação de diferentes fontes de uréia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.104-111, 2012.

Silva, D.R.G.; Pereira, A.F.; Dourado, R.L.; Silva, F.P.; Ávila, F.W.; Faquin, V. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.3, p.516-523, 2011a.

Silva, T.O.; Menezes, R.S.C.; Alves, R.N.; Primo, D.C.; Silva, G.B.M.S. Produtividade de grãos e frações nitrogenadas do milho submetido a manejo de adubos orgânicos na região semiárida. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v.32, p.1735-1744, 2011b.

Souza, L.S.B.; Moura, M.S.B.; Sedyama, G.C.; Silva, T.G.F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.715-721, 2011.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

CAPÍTULO 3 – Diagnóstico do balanço nutricional para a cultura do milho (*Zea mays* L.) na região de Québec

RESUMO – O milho é uma das culturas mais exigentes em nutrientes. O diagnóstico dos tecidos em milho é atualmente conduzido através da análise de solo e de tecido foliar, utilizando-se concentração de nutrientes críticos ou razões duplas, as quais são distorcidas pela redundância de informações, incoerências subcomposicionais e distribuições não normais. A análise de dados composicionais utilizando a técnica de balanço ortonormal entre nutrientes evita estas distorções. Objetivou-se desenvolver e comparar um balanço de nutrientes padrão para o milho. Foram coletados 758 dados de produção de grãos e de tecido foliar de plantas no estágio VT (pendoamento), em Québec-Canadá, e analisados 10 nutrientes presentes nas folhas (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn, Fe). Os nutrientes foram arranjados segundo um balanço *ad hoc* e computado como razão log isométrica (*ilr*). A Curva de Características de Operação do Receptor (Curvas ROC), um processo iterativo, mostrou como distância crítica de Mahalanobis 4,21; separou-se o equilíbrio do desequilíbrio das amostras, com um ponto de rendimento máximo de 11,84 Mg grãos ha⁻¹. O teste foi conclusivo (Acurácia=0,84). Os balanços padrão de milho de Québec diferiram, quando comparados ao padrão computado das normas DRIS coletados de outros agroecossistemas. A razão de Redfield N/P em folhas de milho no estágio de pendoamento foi o balanço menos variável dentre as das várias regiões. O balanço da diagnose nutricional combinado com a distância crítica de Mahalanobis e a representação móvel do balanço nutricional, com valores médios de *ilr* de espécies verdadeiras negativas, foram centradas em um ponto de referência e re-transformadas em concentrações de forma bruta em escalas. Os nutrientes foram reconhecidos como em equilíbrio, desequilíbrio ou em excesso de concentração, após análises estatísticas no balanço dominante.

Palavras-chave: análise de dados composicionais, conceito de balanço nutricional, diagnose nutricional em tecidos, DRIS, interações entre nutrientes, nível crítico

ABSTRACT - Maize is one of the most nutrient demanding staple crops. Tissue diagnosis of maize is currently conducted using critical nutrient concentration or dual

ratio ranges but such diagnoses are biased by data redundancy, subcompositional incoherence and non-normal distribution. Compositional data analysis using the orthonormal balance technique avoids such biases. Our objective was to develop and compare nutrient balance standards for maize. We collected 758 grain yields and foliar samples at silk stage in Quebec and analyzed ten nutrients in tissues (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn, Fe). Nutrients were arranged into ad hoc orthogonal balances and computed as isometric log ratios (*ilr*). A customized receiver operating characteristic (ROC) iterative procedure showed a critical Mahalanobis distance of 4,21 separating balanced from imbalanced specimens about yield cut-off of 11.84 Mg grain ha⁻¹. The test was fairly informative (area under curve = 0,84). Quebec maize balance standards differed compared to standards computed from DRIS norms collected in other agroecosystems. The Redfield N/P ratio in maize leaves at silk stage was the least variable balance across several regions of the world. The DRIS dual ratios were found to be non-symmetric hence conducting to noisy diagnosis. Nutrient balance diagnosis combined critical Mahalanobis distance, a mobile representation of nutrient balances with median *ilr* values of true negative (TN) specimens centered at fulcrums and back-transformed *ilr* values of TN specimens into raw concentrations in buckets. Nutrients can be appreciated as relative shortage, adequacy or excess in the concentration domain after statistical analysis and diagnosis in the balance domain.

Key words: compositional data analysis, critical range, DRIS, nutrient balance concept, nutrient interactions, tissue nutrient diagnosis

1. INTRODUÇÃO

Dados analíticos de tecido foliar são constantemente diagnosticados utilizando faixas de teores críticos de nutrientes (CNCR) [1] ou relações duplas [2]. No entanto, as CNCR são tendenciosas por não representarem as interações entre nutrientes [3]. Embora as relações duplas de nutrientes possam refletir interações [4] há relações duplas $D \times (D-1)/2$ em composições com D-balanços; a maioria são redundantes e possuem correlações hipotéticas, pois uma composição com D-balanços tem uma matriz de classificação D-1 graus de liberdade [5]. Relações duplas podem, assim, levar a interpretações errôneas quando correlacionadas com a produtividade [6]. O Sistema Integrado de Recomendação e Diagnose (DRIS) integra relações duplas em índices D [4].

Atualmente, especialistas em nutrição de plantas conduzem as CNCR e o DRIS separadamente para identificar os nutrientes mais limitantes [7], visto que a

CNCR e o DRIS são numericamente tendenciosos [6, 8, 9], e podem levar a interpretações conflitantes [10, 11, 12, 13].

Os dados analíticos dos tecidos foliares pertencem à classe dos dados de composição, que são estritamente positivos e restritos entre zero e a unidade de medida. Os nutrientes na matéria fresca ou seca são relacionados uns com os outros, não só fisiologicamente [3, 14], mas também numericamente [15]. A utilização de dados composicionais brutos em análise estatística linear leva a distorções numéricas devido à redundância de informação, distribuição não normal e a incoerência subcomposicional [16]. O vector composicional consiste em vetores de valores positivos somando a unidade, ou em geral a alguma constante fixa para todos os vetores e possui D-1 graus de liberdade [5] e distribuição logística normal [15], isto é, $\ln(p/(1-p))$ em que p é uma proporção e (1-p) é o seu complemento em um espaço composicional fechado.

Para evitar distorções numéricas, [15] propôs usar a transformação da relação log aditiva (*alr*) e relação log centraizada (*clr*). No entanto, o *alr* não preserva distâncias enquanto *clr* preserva mas, produz uma matriz de singularidade. A transformação da relação log isométrica (*ilr*) [17] evita as desvantagens do *alr* e *clr*. O *ilr* expande a função log para dois subconjuntos não sobrepostos de componentes em comparação com dois componentes que não se sobrepõem.

A geometria DRIS foi retificada utilizando *clr* (CND - *clr*) [18], em seguida, *ilr* (CND - *ilr*) [19]. O conceito *ilr* parece ser o mais adequado para a realização de análise multivariada [20] e diagnóstico nutricional da planta [19, 8, 21, 22]. Embora seja impossível afirmar se um nível de nutrientes é muito alto, adequado ou muito baixo utilizando as relações [3, 4, 14], os nutrientes podem ser diagnosticados de forma coerente utilizando uma configuração móvel em eixos e escalas, onde os balanços são diagnosticados em eixos e área de concentração em escalas. O modelo pode ser constituído através de um arranjo de componentes ou subconjuntos de componentes com balanço binário, com conhecimento prévio do sistema em estudo [22], pois, os balanços e concentrações são integrados no mesmo sistema e, a diagnose nutricional não pode produzir interpretações conflitantes.

Objetivou-se: (1) desenvolver e validar normas *ilr* para a cultura do milho, e (2) comparar os balanços-padrão na cultura do milho com dados da literatura.

1.1.1 Teoria

1.1.2 Espaço composicional de dados

O espaço composicional dos dados, segundo [15]:

$$S^D = C(c_1, c_2, \dots, c_D) = \left(\frac{c_{1K}}{\sum_{i=1}^D c_i}, \frac{c_{2K}}{\sum_{i=1}^D c_i}, \dots, \frac{c_{DK}}{\sum_{i=1}^D c_i} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde S^D é o vetor de composição ou simplex, D é o número de componentes, C é o vetor de encerramento da função com c_i como parte i^{th} de uma composição contendo $D-1$ balanços analíticos e valores (F_v) para a unidade de medida K , F_v permite re-transformar os valores *ilr* para concentrações com unidades de medida conhecidas.

1.1.3 Relações log isométricas (*ilr*)

A técnica *ilr* [17] gera $D-1$ graus de liberdade, preservando as informações contidas no vetor composicional, sem sobreposição ortogonal log-contrastada, também chamado de balanços ortonormais. Os balanços são organizados de acordo com uma partição binária sequencial (PBS), onde partes denominadas como "+1", grupo numerador, são contrastados com partes denominadas "-1", como grupo denominador, e partes denominadas como "0" são excluídas. Os saldos são calculados da seguinte forma [23]:

$$ilr_i = \sqrt{\frac{n_i^+ n_i^-}{n_i^+ + n_i^-}} \ln \frac{g(c_i^+)}{g(c_i^-)} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde, na linha i^{th} da PBS, n_i^+ e n_i^- são os números dos componentes com sinal positivo (+) ou um subconjunto com sinal negativo (-), respectivamente, $g(c_i^+)$ é a média geométrica dos componentes do subconjunto do grupo positivo (+) e negativo

(-), respectivamente. Os contrastes log ortogonais são calculados entre si, pois $\sqrt{\frac{n_i^+ n_i^-}{n_i^+ + n_i^-}}$ é um coeficiente ortogonal que assegura a independência linear. Neste artigo, os balanços são projetados '[-1 para o subconjunto denominador |+1 para o subconjunto numerador]' para localizar os números negativos à esquerda e indicar que, se (-1) subconjunto de cargas carregam mais do que o subconjunto positivo (+1), o balanço tende para o lado esquerdo da barra vertical.

A distância de Mahalanobis (M) é uma distância multivariada contabilizada para a covariância entre as variáveis e computada através da seguinte fórmula:

$$\mathcal{M} = \sqrt{(x - \bar{x})^T COV^{-1}(x - \bar{x})} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde \bar{x} é o baricentro, ou seja, o ponto que dista dois terços do vértice da mediana correspondente de dados de uma população de referência e COV covariância da matriz de dados de uma população de referência.

1.1.4 Transformando normas DRIS em balanços-padrão

As normas DRIS de relações duais de dados da literatura foram convertidas em variáveis *ilr*. Para N/P e de Ca/Mg, a conversão segue abaixo:

$$ilr_{N/P} = \sqrt{\frac{1}{2}} \ln \left(\frac{N}{P} \right) \text{ e } ilr_{Ca/Mg} = \sqrt{\frac{1}{2}} \ln \left(\frac{Ca}{Mg} \right) \text{ onde } r = 1 \text{ e } s = 1 \quad \text{Eq. 6}$$

No caso de múltiplas relações, a fórmula *ilr* é decomposta em combinações lineares das relações duplas. O balanço [Ca, Mg K | N, P] é decomposto do seguinte modo (excluindo o coeficiente ortogonal):

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{\sqrt{N \times P}}{\sqrt[3]{K \times Mg \times Ca}} \right) &= \frac{1}{2} [\ln(N) + \ln(P)] - \frac{1}{3} [\ln(K) + \ln(Mg) + \ln(Ca)] \\ &= \frac{3\ln(N) + 3\ln(P) - 6\ln(P) - 2\ln(K) - 2\ln(Mg) - 2\ln(Ca) + 6\ln(P)}{6} \\ &= \frac{1}{2} \ln \left(\frac{N}{P} \right) + \frac{1}{3} \left[\ln \left(\frac{P}{K} \right) + \ln \left(\frac{P}{Mg} \right) + \ln \left(\frac{P}{Ca} \right) \right] \end{aligned} \quad \text{Eq. 7}$$

Eq. 7 é multiplicada por $\sqrt{6/5}$ para obter o correspondente valor de *ill*.

O balanço [Ca, Mg | K] é rearranjado, como segue (excluindo o coeficiente ortogonal):

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{K}{\sqrt{Ca \times Mg}}\right) &= \ln(K) - \frac{1}{2} [\ln(Ca) + \ln(Mg)] = \frac{1}{2} \ln(K) + \frac{1}{2} \ln(K) - \frac{1}{2} \ln(Ca) - \frac{1}{2} \ln(Mg) \\ &= \frac{1}{2} \ln\left(\frac{K}{Ca}\right) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{K}{Mg}\right) \end{aligned} \quad \text{Eq. 8}$$

Eq. 8 é multiplicada por $\sqrt{2/3}$ para obtenção do valor de *ill*.

1.1.5 Projetando uma partição binária sequencial (PBS)

Os resultados das análises estatísticas multivariadas não são influenciados pelo PBS, pois, *ill*s são variáveis linearmente independentes devido ao seu arranjo ortogonal. Há $D \times (D-1) / 2^{D-1}$ balanços possíveis que podem ser elaborados a partir de um balanço D [24]. Embora as distorções numéricas sejam evitadas quando conduzimos análises estatísticas, balanços selecionados randomicamente (sem conhecimento prévio) não são informativos em termos de arquitetura do sistema, pois, qualquer sistema tem uma hierarquia (por exemplo, dados relativos aos tecidos tem organização intrínseca para a planta sobreviver) e, os balanços podem ser organizados para representar e interpretar o sistema em estudo. Os balanços podem ser projetados baseados em análises exploratórias bi-plot [5] ou com conhecimento prévio de especialista [6, 8, 21, 22].

A PBS foi projetada (Tabela 1), com base no conhecimento prévio das interações entre nutrientes [3]. Os nutrientes foram primeiramente contrastadas com o F_v ; Macronutrientes foram separados de micronutrientes catiônicos. Macronutrientes aniônicos (N, P) foram contrastadas com macronutrientes catiônicos (K, Ca, Mg), como sugerido em estudos de solução nutritiva [25]. Macronutrientes aniônicos foram subdivididos no balanço [P | N] [26] e balanços catiônicos [14]. O Cu, Zn, Fe e Mn foram contrastadas após a análise bi-plot.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 A base de dados

Foram coletados dados de produtividade e analíticos em 758 parcelas experimentais e produções locais, em 7 sítios experimentais, durante os anos de 1997, 1999, 2011 e 2012, onde as doses de N e K foram variadas, nas planícies do São Lourenço, no sul de Québec, Canadá. Folhas diagnósticas foram coletadas em julho, durante a fase VT (pendoamento). O N foliar foi determinado por combustão (CNS Leco 2000). As concentrações de P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe e B foram determinadas por IPC-OES após digestão de uma mistura de ácidos nítrico e perclórico [27]. Grãos foram colhidos mecanicamente em locais em que as parcelas eram grandes e, manualmente nas pequenas parcelas. O rendimento de grãos foi expresso em 15,5% de base úmida.

2.2 Análises estatísticas

Os cálculos estatísticos foram realizados no ambiente estatístico "R" [28], utilizando o pacote "compositions" [29]. Os outliers entre *ilrs* foram descartados a partir dos dados da pesquisa ao nível de 0,01 usando o pacote "mvoutlier" [30]. As análises bi-plot foram conduzidas utilizando-se dados *clr* transformados [31].

A pseudo-inversa Moore-Penrose foi utilizada para evitar singularidades na inversão da matriz de covariância, necessárias para cálculos da distância de Mahalanobis [32]. As Curvas de Características de Operação do Receptor (ROC), utilizadas para medir o desempenho em testes biológicos [33], foram calculadas de forma interativa para particionar o rendimento de grãos (eixo y) e a distância de Mahalanobis (eixo x) em quatro quadrantes, utilizando o índice J da Youden máxima (sensibilidade + especificidade - 1) como critério [34].

3. RESULTADOS

a. Análises bi-plot e partição binária sequencial (PBS)

Os nutrientes foram relacionados entre si através da análise exploratória bi-plot (Figura1). O Mn e o Fe se posicionaram em sentidos opostos, enquanto o Cu e o Zn foram quase ortogonais entre si. A PBS (Tabela 1) foi elaborada com base no conhecimento prévio de macronutrientes (seção 1.1.5) e na análise bi-plots para micronutrientes catiônicos (Figura 1).

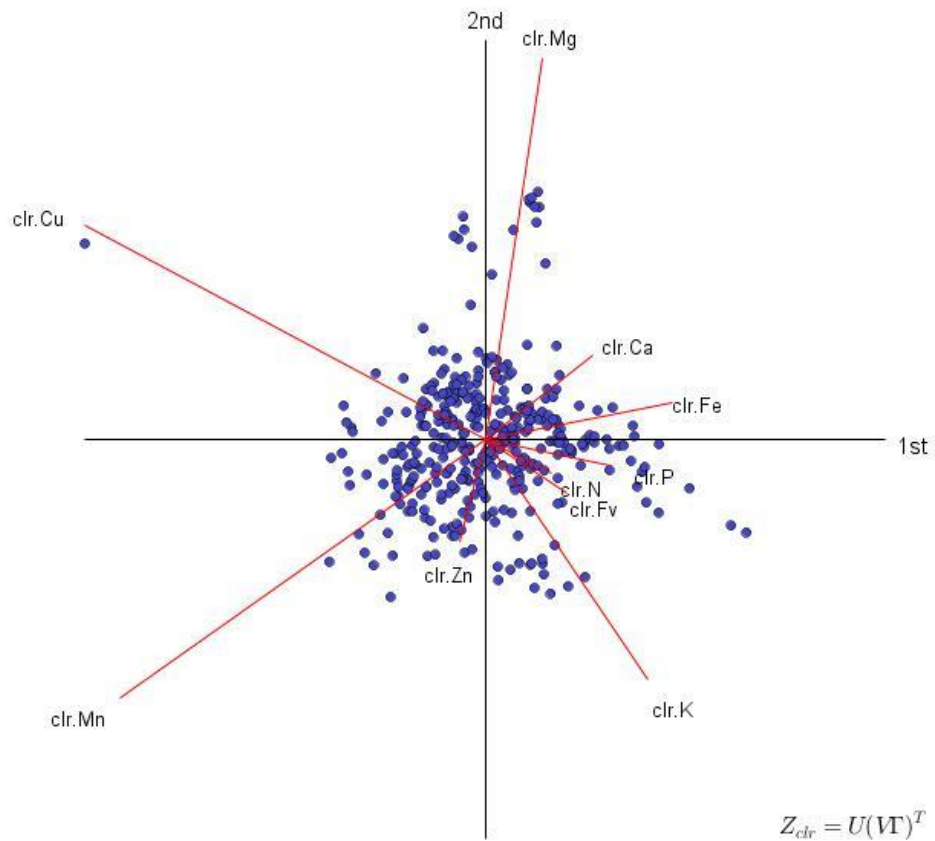


Figura 1. Bi-plot mostrando as relações entre nutrientes em dados de produção de milho do Québec, Canadá

Tabela 1. Partição da sequência binária dos nutrientes do milho, baseada em conhecimento prévio e análises bi-plot

| Balanco [-1 subconjunto +1 subconjunto] | N | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Mn | Fe | F _v | r | s |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|---|---|
| [Fe,Mn,Zn,Cu Mg,Ca,K,P,N] | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 5 | 4 |
| [Mg,Ca,K P,N] | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| [P N] | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| [Mg,Ca K] | 0 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| [Mg Ca] | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| [Fe,Mn Zn,Cu] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | -1 | 0 | 2 | 2 |
| [Zn Cu] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| [Fe Mn] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 1 | 1 |
| [Fv Fe,Mn,Zn,Cu,Mg,Ca,K,P,N] | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 9 | 1 |

b. Calibração do balanço de nutrientes-padrão

O teste ROC relativo à distância de Mahalanobis (preditor) para produtividade do milho indicou 4,21 e 11.840 kg de grãos ha⁻¹ como valores críticos, respectivamente (Figura 2). O teste foi informativo, como mostrado, com um desempenho de 84%, comparável aos testes clínicos biológicos [33]. Onde:

- Verdadeiro positivo (VP: desequilíbrio de nutrientes): safra desequilibrada (baixo rendimento), corretamente diagnosticada como desequilibrada (acima do valor crítico);
- Falso positivo (FP: erro do tipo I): safra equilibrada (alto rendimento), incorretamente identificada como desequilibrada (acima do valor crítico);
- Verdadeiro negativo (VN: equilíbrio de nutrientes): safra equilibrada (alto rendimento), corretamente diagnosticada como equilibrada (abaixo do valor crítico);
- Falso negativo (FN: erro do tipo II): safra desequilibrada (baixo rendimento), incorretamente identificada como equilibrada (abaixo do valor crítico).

Havia poucas amostras de falsos positivos (13) e 14% da população eram de falso negativo. O grupo verdadeiro positivo foi composto de 74% das amostras, indicando que o manejo de nutrientes pode ser melhorado nesses campos. Nove por cento da população foi classificada como verdadeiro negativo (VN).

Os balanços de nutrientes-padrão são a média e o inverso da matriz de covariância do grupo VN (Tabela 2). Após a re-transformação dos dados *ilr* padrões conhecidos em unidades de concentração, o grupo VN apresentou os seguintes valores centrais: 29,8 g N kg⁻¹, 2,7 g P kg⁻¹, 24,6 g K kg⁻¹, 4,9 g Ca kg⁻¹, 1,6 g Mg kg⁻¹, 936,3 g F_v kg⁻¹, 8 mg Cu kg⁻¹, 29 mg Zn kg⁻¹, 44 mg Mn kg⁻¹, and 94 mg Fe kg⁻¹. Em comparação com o balanço de nutrientes críticos propostos por [1] que foi: 27-40 g N kg⁻¹, 2,5-5,0 g P kg⁻¹, 17-30 g K kg⁻¹, 2,1-10 g Ca kg⁻¹, 2-10 g Mg kg⁻¹, 6-20 mg Cu kg⁻¹, 25-100 mg Zn kg⁻¹, 20-200 mg Mn kg⁻¹, and 21-250 mg Fe kg⁻¹. Somente o Mg pareceu estar fora dos valores críticos atuais.

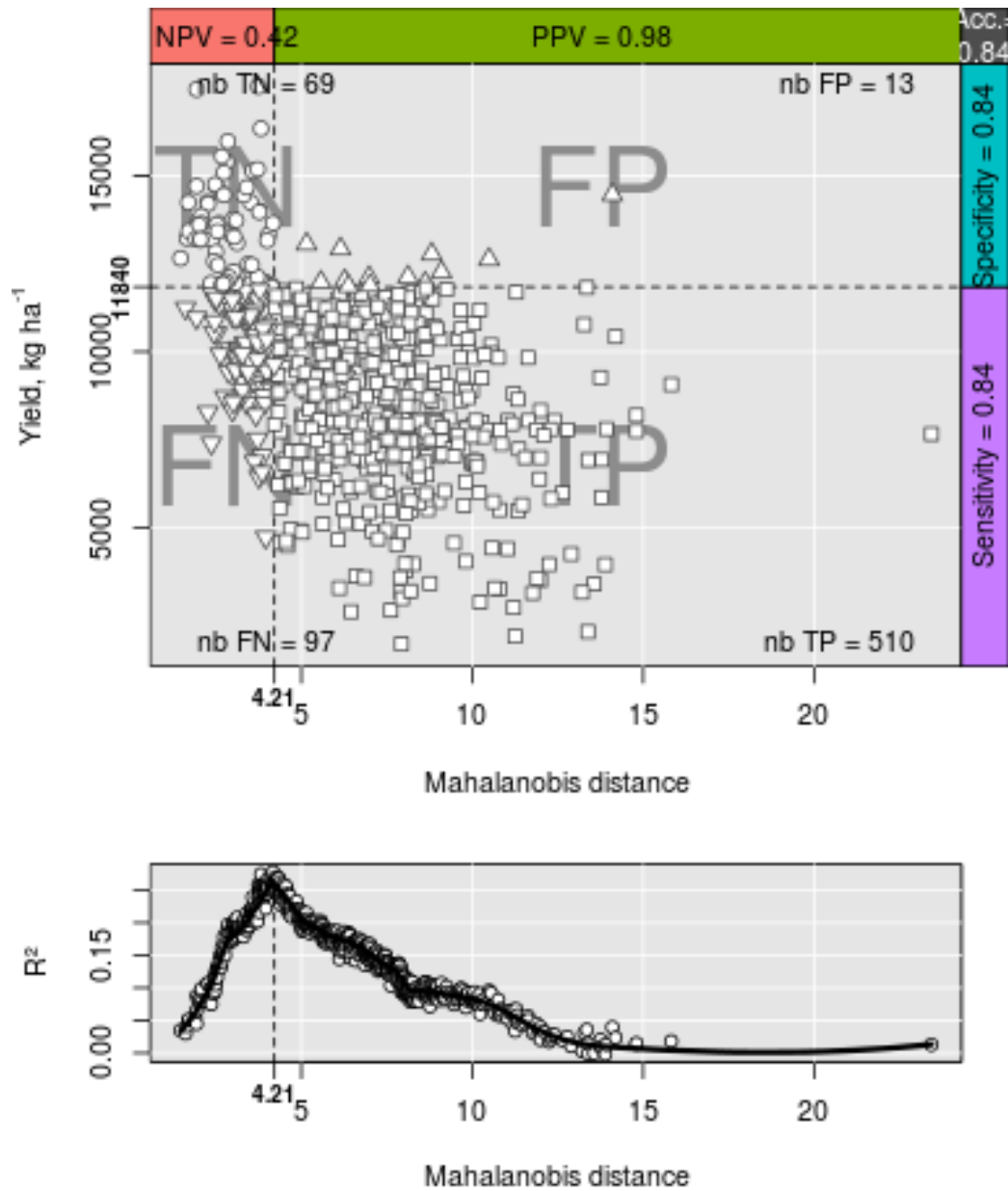


Figura 2. Relação entre a distância de Mahalanobis (preditor) e a produção de milho, mostrando limites de 11.840 kg grãos ha⁻¹ e 4,21 como valor crítico da distância de Mahalanobis

Tabela 2. Balanço de nutrientes-padrão para dados de produção de milho do Québec, Canadá

| Balanço de nutrientes | [Fe,Mn,Zn,Cu Mg,Ca,K,P,N] | [Mg,Ca,K P,N] | [P N] | [Mg,Ca K] | [Mg Ca] | [Fe,Mn Zn,Cu] | [Zn Cu] | [Fe Mn] | [F _v outros] |
|--|-----------------------------|-----------------|----------|-------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|---------------------------|
| Balanço de nutrientes padrões (media do valor <i>ilr</i> no grupo verdadeiro negativo) | | | | | | | | | |
| | 8,049 | 0,479 | 1,696 | 1,769 | 0,780 | -1,447 | -0,931 | -0,529 | -6,934 |
| Inverso da matriz de covariância para o valor <i>ilr</i> no grupo verdadeiro negativo | | | | | | | | | |
| [Fe,Mn,Zn,Cu Mg,Ca,K,P,N] | 116,817 | 47,929 | -29,601 | 26,506 | -82,432 | -15,270 | 1,166 | 7,024 | 317,387 |
| [Mg,Ca,K P,N] | 47,929 | 191,048 | 64,318 | -57,382 | -31,163 | -18,061 | 6,398 | 28,495 | 29,548 |
| [P N] | -29,601 | 64,318 | 198,328 | 3,103 | 77,775 | 38,663 | -6,049 | 6,868 | -121,002 |
| [Mg,Ca K] | 26,506 | -57,382 | 3,103 | 92,393 | -21,394 | 20,901 | -2,272 | 2,842 | 116,529 |
| [Mg Ca] | -82,432 | -31,163 | 77,775 | -21,394 | 168,251 | 45,750 | 15,002 | 9,749 | -297,480 |
| [Fe,Mn Zn,Cu] | -15,270 | -18,061 | 38,663 | 20,901 | 45,750 | 39,303 | 3,925 | 19,975 | -91,323 |
| [Zn Cu] | 1,166 | 6,398 | -6,049 | -2,272 | 15,002 | 3,925 | 14,769 | 10,675 | -25,359 |
| [Fe Mn] | 7,024 | 28,495 | 6,868 | 2,842 | 9,749 | 19,975 | 10,675 | 44,021 | -85,194 |
| [F _v outros] | 317,387 | 29,548 | -121,002 | 116,529 | -297,480 | -91,323 | -25,359 | -85,194 | 1403,681 |

c. Verificação do balanço nutricional padrão

A razão dupla DRIS de espécimes verdadeiro negativas para grãos de milho em Québec foi computada das médias *ilr* re-transformadas para valores de concentração comparados com as relações duplas DRIS da literatura [35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43] (Tabela 3). Há ampla variação nas relações DRIS entre os estudos, indicando especificidade regional.

As relações-padrões duplas DRIS foram não simétricas [40,41], por exemplo, (X/Y) difere de $1/(X/Y)$ para nutrientes X e Y, indicando distribuição de dados oblíquas, obviamente levando ao diagnóstico tendencioso. Além disso, estudos individuais mostraram que os coeficientes de variação foram heterogêneos durante o estudo (13 – 101%), com médias dentro do estudo variando entre (21 e 46%).

Apesar do aumento da produtividade aparente com adições de N, não houve respostas significativas de rendimento ao N adicionado em 2011 e 2012, enquanto a distância de Mahalanobis ultrapassou 4,21 em ambos os anos, indicando desequilíbrio (Tabela 4). Utilizando as CNCR para diagnosticar o estado nutricional, somente P e Mg apresentaram escassez em alguns tratamentos (Tabela 5), enquanto que o N apareceu deficiente na dose de 60 kg ha⁻¹ de tratamento, em comparação como nível crítico proposto por [1]

O balanço nutricional padrão para grãos de milho em Québec foi comparado às relações DRIS convertidos em balanços nutricionais (Tabela 4). O balanço mais consistente foi o [P | N] e o mais variável foi o [Mg, Ca | K], refletindo alta variabilidade regional das condições de solo, clima e manejo da cultura. O balanço de Québec [P | N] e [Mg | Ca] foi o nono mais alto enquanto o balanço [Mg, Ca | K] foi o mais baixo e o [Mg, Ca,K | N,P] foi próximo à média.

Tabela 3. Comparações entre os dados das relações DRIS convertidos em balanço de nutrientes-padrão elaborados para grãos de milho em Québec

| Fonte | Balanço de nutrientes | | | |
|------------------------------|-----------------------|---------|-------------|-----------|
| | [Mg,Ca,K | | | |
| | P,N] | [P N] | [Mg,Ca K] | [Mg Ca] |
| Summer (1977) | 0,381 | 1,656 | 2,096 | 0,453 |
| Elwali (1985) | 0,585 | 1,556 | 2,824 | 0,541 |
| Needham (1990) | 0,706 | 1,658 | 1,856 | 0,606 |
| Soltanpour (1995) | 0,346 | 1,786 | 2,160 | 0,392 |
| Singh et al. (2012) | 0,793 | 1,408 | 2,980 | 0,483 |
| Rocha (2007) | 0,855 | 1,652 | 2,588 | 1,125 |
| Dagbenonbakin (2013) | 0,403 | 1,479 | 2,512 | 0,551 |
| Syed et al. (1992) | 0,259 | 1,605 | 2,340 | 0,409 |
| Escano et al. (1981) | 0,595 | 1,627 | 2,662 | 0,476 |
| Média Québec | 0,479 | 1,696 | 1,769 | 0,780 |
| Limite inferior Québec | 0,462 | 1,679 | 1,751 | 0,763 |
| Limite superior Québec | 0,496 | 1,713 | 1,786 | 0,798 |
| Média geral | 0,540 | 1,612 | 2,379 | 0,582 |
| Variância entre as médias | 0,040 | 0,012 | 0,164 | 0,049 |

Tabela 4. Influência da adição de N na produção de grãos e distância de Mahalanobis (ns = não significativa) em experimentos com doses de N em 2011 e 2012

| Doses de N kg ha ⁻¹ | Produção de grãos | | Distância Mahalanobis | |
|-----------------------------------|----------------------------------|------|-----------------------|--------|
| | -----kg N ha ⁻¹ ----- | | | |
| | 2011 | 2012 | 2011 | 2012 |
| 60 | 5920 | 3833 | 10,496 | 7,630 |
| 130 | 6580 | 5135 | 8,452 | 8,345 |
| 160 | 7807 | 6033 | 11,581 | 11,933 |
| 190 | 8073 | 5783 | 9,6351 | 11,339 |
| 220 | 8440 | 5665 | 7,987 | 9,636 |
| | ns | ns | ns | ns |

Tabela 5. Média da concentração de nutrientes em folha diagnóstica no estágio VT em dois experimentos com doses de nitrogênio comparados com valores de nível crítico (N.C.) para nitrogênio (Benton Jones et al. 1991)

| Doses | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|---------|-------|--------|--------------------------------|------|--------|--------|--------|
| de N | N | P | K | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
| kg N ha ⁻¹ | -----g kg ⁻¹ ----- | | | | -----mg kg ⁻¹ ----- | | | | |
| 2011 | | | | | | | | | |
| 60 | 25,4 | 2,8 | 21,0 | 4,2 | 1,8 | 10 | 59 | 33 | 20 |
| 130 | 29,3 | 2,8 | 21,8 | 4,6 | 1,9 | 12 | 50 | 46 | 25 |
| 160 | 31,8 | 3,1 | 21,7 | 4,8 | 2,1 | 12 | 100 | 49 | 29 |
| 190 | 32,6 | 3,1 | 20,7 | 4,7 | 1,9 | 12 | 81 | 54 | 28 |
| 220 | 32,8 | 2,9 | 21,6 | 4,9 | 2,0 | 12 | 74 | 55 | 29 |
| 2012 | | | | | | | | | |
| 60 | 25,6 | 2,4 | 19,7 | 3,8 | 2,2 | 6 | 106 | 29 | 34 |
| 130 | 26,9 | 2,3 | 19,1 | 3,9 | 2,1 | 6 | 85 | 38 | 42 |
| 160 | 28,4 | 2,5 | 20,4 | 4,3 | 2,2 | 7 | 97 | 40 | 38 |
| 190 | 28,4 | 2,5 | 18,8 | 3,9 | 1,9 | 16 | 86 | 43 | 40 |
| 220 | 32,3 | 2,6 | 19,4 | 4,3 | 2,2 | 8 | 101 | 48 | 63 |
| N.C. | 27-40 | 2,5-5,0 | 17-30 | 2,1-10 | 2-10 | 6-20 | 21-250 | 20-200 | 25-100 |

4.DISCUSSÃO

A aditividade de variáveis DRIS, que necessitam de geometria Euclidiana, a simetria da expressão da média da relação dupla e a homogeneidade da variância, são questionáveis e podem levar a um diagnóstico tendencioso [8]. Para reduzir a variância dos padrões DRIS e produzir variâncias e médias independentes das expressões de relação dupla [44] propôs transformar relações duplas em relações log. No entanto, a transformação log comum não é uma solução, pois os dados composicionais têm distribuição normal logística [15] e, portanto, deve ter razão de transformação log [18]. Os padrões de relação log para o milho têm sido desenvolvidos utilizando a transformação *clr* [45]. No entanto, o *clr* é influenciado

pela vasta variação de alguns dos componentes que afetam a média geométrica utilizada como denominador [20]. A transformação da relação log mais apropriada para a análise multivariada de dados composicionais é a *ilr*, graças à sua geometria Euclidiana [17 , 20], que preserva todas as informações nos dados brutos (na análise *clr* ocorre a matriz de singularidade, logo, um valor de *clr* deve ser removido antes de realizar a análise multivariada).

Os balanços de nutrientes, reconstituídos a partir das relações duplas DRIS publicados, mostraram que o milho tem alta plasticidade fenotípica dependendo do solo e das condições climáticas, portanto, indo contra qualquer universalidade das normas de nutrientes padrão. O equilíbrio menos variável foi a razão de Redfield N/P que variou entre 7,3 e 12,5 em fase de pendoamento. A referência de relação N/P em Quebec era de 11, depois de re-transformando o *ilr* foi de 1,696. O equilíbrio entre a proteína e os resultados das sínteses de rRNA, produz uma determinada relação entre proteína:rRNA ou N/P [26]. Com efeito, [46] relataram índices N/P entre 10 a 20 espécies de plantas e estádios fisiológicos, porém, a menor relação N/P pareceu ser mais típica para espécies como o milho sequeiro na fase de pendoamento. A idade fisiológica de partes da planta é um fator importante que afeta as concentrações de nutrientes [14]. É por isso que os níveis de nutrientes e índices devem ser comparados com os padrões com a mesma idade fisiológica [9, 47].

Os espécimes verdadeiros negativos (VN) representaram os dados coletados em 1997 e 1999 apenas; portanto, os padrões de equilíbrio de nutrientes refletem as condições climáticas e de solo excepcionais durante os anos produtivos. Assim, os padrões também informam o balanço de nutrientes sob condições de crescimento favoráveis. Por outro lado, como todos os nutrientes, exceto Mg estavam em equilíbrio no grupo VN, esta concentração relativamente baixa de Mg, possivelmente resultante do efeito de diluição, deve ter impacto sobre o balanço de nutrientes envolvendo Mg. Embora esta aparente deficiência possa resultar em menor proporção de proteínas e diminuição da fotossíntese e acúmulo de carboidratos, não leva, necessariamente, à redução do rendimento [14]. Estudos de campo são necessários para validação do balanço-padrão de nutrientes.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra que o balanço de coordenadas e os valores de concentração brutos podem ser interpretados de forma coerente, combinando um balanço dominante para a análise estatística com um domínio de concentração para apreciação do nível de nutrientes, reunidos em uma configuração móvel eixos-escalas. Os balanços de nutrientes-padrão são médias e matrizes de covariância *ilr* transformadas para uma população de amostras verdadeiras negativas, determinadas após um processo de curvas de características de operação do receptor (ROC) que otimiza a relação entre a produção de grãos e a distância de Mahalanobis. Os valores de concentração de referência e padrão *ilr* são os correspondentes *ilrs* re-transformados. Balanço de nutrientes-padrão para o milho cultivado em Québec diferem, quando comparados com outras regiões, exceto para a relação de Redfield que variaram menos entre genótipos, devido à sua regulação do metabolismo de proteínas.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Benton J. Jr. Jones, B. Wolf, and H. A. Mills, "Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide, Micro Macro Intl.", 1991, Athens, GA.
- [2] E. Malavolta, "Manual de Nutrição de Plantas", Editora Agronomica Ceres, São Paulo, Brazil, 2006, p. 638.
- [3] S. R. Wilkinson, "Nutrient Interactions in Soil and Plant Nutrition". In Handbook of Soil Science, M. E. Sumner, Ed., Boca Raton FL: CRC Press, 2000, D89–D112.
- [4] J. L. Walworth and M. E. Sumner, "The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)," Advances in Soil Science, Vol. 6, 1987, pp. 149–88.

- [5] J. Aitchison and M. Greenacre, "Biplots of Compositional Data," *Journal of the Royal Statistical Society Series C Applied Statistics*, Vol. 51, No. 4, 2002, pp. 375–392.
- [6] S.-É. Parent, L. E. Parent, D. E. Rozane, A. Hernandez and W. Natale, "Nutrient Balance as Paradigm of Soil and Plant Chemometrics". In: *Soil Fertility*, R. N. Issaka, Ed., Intech, 2012, pp. 83–114.
- [7] P. G. S. Wadt and D. J. Silva, "Acurácia Do Diagnóstico Nutricional de Pomares de Mangueiras Obtido Por Três Fórmulas DRIS," *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol. 45, No.10 (October) , 2010, pp. 1180-1188.
- [8] S.-É. Parent, L. E. Parent, D. E. Rozane and W. Natale, "Nutrient Balance Ionomics: Case Study with Mango ([*Mangifera indica*](#))," *Frontiers in Plant Science*, Vol. 4 (October) , 2013, article 449.
- [9] S.-É. Parent, L. E. Parent, J. J. Egozcue, D. E. Rozane, A. Hernandez, L. Lapointe, V. Hébert-Gentile, et al., "The Plant Ionome Revisited by the Nutrient Balance Concept." *Frontiers in Plant Science*, Vol. 4 (January), No. 39, 2013, pp. 1-10.
- [10] G. G. C. Da Silva, J. C. L. Neves, V. H. Alvarez and F. P. Leite, "Nutritional Diagnosis for Eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND," *Scientia Agricola*, Vol. 61, No. 5, 2004, pp. 507-515.
- [11] F.R. Blanco–Macías, R.D. Magallanes–Quintanar, R. Valdez–Cepeda, E. Vázquez–Alvarado, E. Olivares–Sáenz, E. Gutiérrez–Ornelas and J.A. Vidales–Contreras, "Comparison Between CND Norms and Boundary–line Approach Nutrient Standards: *Opuntia Ficus–indica* L. Case. R. Chapingo," *Serie Horticultura* Vol.15, No. 2, 2009, pp. 217-223.

- [12] H. Huang, C. X. Hu, Q. Tan, X. Hu, X. Sun and L. Bi, "Effects of Fe–EDDHA Application on Iron Chlorosis of Citrus Trees and Comparison of Evaluations on Nutrient balance with Three Approaches," *Scientia Horticulturae*, Vol. 146, 2012, pp. 137-142.
- [13] L. W. I. Wairegi and P. J. A. Van Asten, "Norms for Multivariate Diagnosis of Nutrient Imbalance in Arabica and Rosusta Coffee in the East African Highlands," *Experimental Agriculture*, Vol. 48, No. 3 (April 18), 2012, pp. 448–460.
- [14] P. Marschner, *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd Edn, Academic Press, London, 2011.
- [15] J. Aitchison, "The Statistical Analysis of Compositional Data, Monographs on Statistics and Applied Probability," Chapman & Hall Ltd., London (UK). (Reprinted in 2003 with additional material by The Blackburn Press), 1986.
- [16] J. Bacon-Shone, "A Short History of Compositional Data Analysis". In: *Compositional Data Analysis: Theory and Applications*, V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti, Ed., John Wiley and Sons, New York, 2011, pp. 3–11.
- [17] J. J. Egozcue, V. Pawlowsky-Glahn, G. Mateu-Figueras and C. Barceló-Vidal, "Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis," *Mathematical Geology*, Vol. 35, No. 3, 2003, pp. 279–300.
- [18] L. E. Parent and M. Dafir, "A Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis," *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Vol. 117, No. 2 (March 1) , 1992, pp. 239–242.
- [19] L. E. Parent, "Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops," *Revista Brasileira de Fruticultura*, Vol. 33, No. 1, 2011, pp. 321-334.

- [20] P. Filzmoser, K. Hron and C. Reimann, "Univariate Statistical Analysis of Environmental (compositional) Data: Problems and Possibilities," *Science of Total Environment*, Vol. 407, 2009, no. 23, 6100–6108.
- [21] L. E. Parent, S.-É. Parent, V. Hébert-Gentile, K. Naess and L. Lapointe, "Mineral Balance Plasticity of Cloudberry (*Rubus Chamaemorus*) in Quebec-Labrador," *American Journal of Plant Science*, Vol. 4, No. 7, 2013, pp. 1508-1520.
- [22] L. E. Parent, S.-É. Parent, D. E. Rozane, D. A. Amorim, A. Hernandez and W. Natale, "Unbiased approach to diagnose the nutrient status of guava". Proceedings of the 3rd International Symposium on Guava and Other Myrtaceae. ISHS 2012. Eds.: C.A.F. Santos et al., *Acta Horticulturae*, Vol. 959, 2012, pp. 145-159.
- [23] J. J. Egozcue and V. Pawlowsky-Glahn, "Groups of Parts and Their Balances in Compositional Data Analysis," *Mathematical Geology*, Vol. 37, No. 7, 2005, pp. 795–828.
- [24] V. Pawlowsky-Glahn, J. J. Egozcue and R. Tolosana-Delgado, "Principal Balances, In: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis (Codawork 2011)," J. J. Egozcue, R. Tolosana-Delgado, and M. I. Ortego, Ed., San Feliu de Guixols, Spain, 2011.
- [25] G. De Rijk, G. and E. Schrevens, "Distribution of nutrients and water in rockwool slabs," *Scientia Horticulturae*, Vol. 72, 1998, pp. 277-285.
- [26] I. Loladze and J. J. Elser, "The Origins of the Redfield Nitrogen-to-phosphorus Ratio Are in a Homeostatic protein-to-rRNA Ratio," *Ecology Letters*, Vol. 14, No. 3, 2011, pp. 244-250.
- [27] J. B. Jr. Jones and V. W. Case, "Sampling, Handling, and Analyzing Plant Tissue Samples," In: *Soil Testing and Plant Analysis*, R.L. Westerman, Ed., Soil Science Society of America, Madison WI, Book Series 3, 1990, pp. 389–427.

- [28] R development Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing. R. T. D. Core, Ed., R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.
- [29] K. G. van den Boogaart, R. Tolosana-Delgado and M. Bren, 'compositions': Compositional Data Analysis in R Package, 2013, Available: <http://cran.r-project.org/package=compositions> [12 Aug. 2013].
- [30] P. Filzmoser and M. Gschwandtner, 'Mvoutlier': Multivariate Outlier Detection Based on Robust Methods, CRAN repository, Vienna, Austria, 2013.
- [31] J. Daunis-i-Estadella, C. Barceló-Vidal, C. and A. Buccianti, "Exploratory compositional data analysis, " In: Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice, A. Buccianti, G. Mateu-Figueras and V. Pawlowsky-Glahn, Ed., Geological Society, London, Special Publications 264, 2001, pp. 161-174.
- [32] Z. Prekopcsák and L. Lemire, "Time Series Classification by Class-specific Mahalanobis Distance Measures. Learning," Advances in Data Analysis and Classification, Vol. 6, No. 3 (July 21) , 2012, pp. 185–200.
- [33] J. A. Swets, "Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems," Science, Vol. 240, No. 4857, 1988, pp. 1285–1293.
- [34] W. J. Youden, "Index for Rating Diagnostic Tests," Cancer, Vol. 3, No. 1, 1950, pp. 32–35.
- [35] M. E. Sumner, "Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices," Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 3, 1977, pp. 269-280.

- [36] A. M. O Elwali, G. J. Gascho and M. E. Sumner, "DRIS norms for 11 nutrients in corn leaves," *Agronomy Journal*, Vol. 77, 1985, pp. 506-508.
- [37] T. D. Needham, J. A. Burger and R. G. Oderwald, "Relationship between Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels," *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 54, 1990, pp. 883-886.
- [38] P. N. Soltanpour, M. J. Malakouti and A. Ronaghi, "Comparison of Diagnosis and Recommendation Integrated System and Nutrient Sufficiency Range for corn," *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 59, No. 1, 1995, pp. 133-139.
- [39] K. Singh, H. S. Hundal and D. Singh, "Monitoring nutrient status for maize in Northwestern India through Diagnosis and Recommendation Integrated System approach," *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 43, No. 22, 2012, pp. 2915-2923.
- [40] A. C. D. Rocha, W. M, Leandro, A. O. Rocha, J. D. G. Santana and J. W. D. S. Andrade," DRIS norms for corn planted in reduced row spacing in Hidrolândia, State of Goias, Brazil," *Bioscience Journal*, Vol. 23, No. 4, 2007, pp. 50-60.
- [41] G. D. Dagbenonbakin, A. K. Srivastava, T. Gaiser and H. Glodbach, "Maize nutrient assessment in Benin Republic: case of upper Ouémé catchment," *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 36, No. 4, 2013, pp. 587-606.
- [42] S. T. Dara, P. E. Fixen and R. H. Gerlderman, "Sufficiency level and Diagnosis and Recommendation Integrated System approaches for evaluating the nitrogen status of corn," *Agronomy Journal*, Vol. 84, 1992, pp. 1006-1010.
- [43] C. R. Escano, C. A. Jones and G. Uehara,"Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystradepts: II. Comparison of two systems of tissue diagnosis," *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 45, 1981, pp. 1140-1144.

[44] R. Beverly, "Comparison of DRIS and alternative diagnostic methods for soybean," *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 1, No. 8, 1987, pp. 901-920

[45] Parent, L. E., Natale, W., and Ziadi, N. 2009. "Compositional Nutrient Diagnosis of Corn using the Mahalanobis Distance as Nutrient Imbalance Index," *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 89, pp. 383-390.

[46] S. Güsewell, "N:P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance," *New Phytologist*, Vol. 164, , 2004 pp. 243-266.

[47] C. Bould, "Leaf analysis as a diagnostic method and advisory aid in crop production," *Experimental Agriculture*, Vol.4, 1968, 17-27.