

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCIELA RODRIGUES DA SILVA

**MODELO DETERMINÍSTICO PARA ESTIMAÇÃO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO PARA GRÃOS E SILAGEM**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2012

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCIELA RODRIGUES DA SILVA

**MODELO DETERMINÍSTICO PARA ESTIMAÇÃO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO PARA GRÃOS E SILAGEM**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2012

MARCIELA RODRIGUES DA SILVA

**MODELO DETERMINÍSTICO PARA ESTIMAÇÃO DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO PARA GRÃOS E SILAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Thomas Newton Martin
Co-Orientador: Dr. Paulo Sergio Pavinato

PATO BRANCO

2012

S586i

Silva, Marciela Rodrigues

Modelo determinístico para estimação da adubação nitrogenada na cultura do milho para grãos e silagem / Marciela Rodrigues da Silva.

Pato Branco. UTFPR, 2012

89 f. : il.; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Thomas Newton Martin

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Pavinato

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2012.

Bibliografia: f. 67 - 81

1. Modelagem. 2. Adubação nitrogenada. I. Martin, Thomas Newton, orient. II. Pavinato, Paulo Sergio, co-orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD: 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Elda Lopes CRB 9/1295
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Ensino e Pesquisa
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 054

MODELO DETERMINÍSTICO PARA ESTIMAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO PARA GRÃOS E SILAGEM

por

MARCIELA RODRIGUES DA SILVA

Dissertação apresentada às 14 horas do dia 13 de fevereiro de 2012 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Integração Lavoura Pecuária, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho.....

Banca examinadora:

Prof. Dr. Giovani Benin
UTFPR

Prof. Dr. Paulo Sergio Pavinato
UTFPR

Prof. Dr. Lindolfo Storck
UFSM

Prof. Dr. Thomas Newton Martin
UFSM
Orientador

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. André Brugnara Soares
Coordenador do PPGA

Aos meus pais, Basílio e Maria

Aos meus irmãos Jucerléia, Marcelo, Jussara e Vanderléia

AGRADECIMENTOS

Agradeço meus pais, pelo exemplo, amor incondicional e tudo que é impossível de ser traduzido em palavras.

Aos meus queridos (as) irmãos e sobrinhos (as): Jucerléia, Vanderléia, Marcelo, Jussara, Kailandra e Michel por todo amor oferecido e que espero, ter sido retribuído por mim.

Ao Marcio pelo carinho e por colocar no meu rosto, ininterruptamente, sinceros sorrisos de felicidade.

Ao meu orientador, Thomas Newton Martin, que mais que um orientador se manteve como um amigo fraterno e prestativo, compartilhando sua sabedoria e conhecimento.

Ao professor Paulo Sergio Pavinato pela amizade e colaboração no trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos ministrados.

À capes pela concessão da bolsa de estudos.

Aos amigos da UTFPR, Dois Vizinhos: Patrícia, Sidney, Thiago, Francisco, Thânia, Felipe, Acir e Edelson, sempre muito voluntariosos.

Aos amigos de convivência, Emerson, Marcos, Diego, Diogo, Claudia, Tatiana, Vanessa, Jussara, Francisco, Ângela e Eduardo pelo carinho, compreensão e inúmeros momentos de felicidade e boa companhia.

À Deus, acima de tudo, por iluminar meus caminhos e me guiar nos momentos de dificuldade.

RESUMO

SILVA, Marciela Rodrigues. Modelo determinístico para estimação da adubação nitrogenada na cultura do milho para grãos e silagem. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

Com o objetivo de avaliar a necessidade de adubação nitrogenada para a produção de grãos e silagem e um modelo matemático de estimação da produtividade potencial e deplecionada na cultura do milho, foi conduzido um experimento utilizando quatro híbridos de milho (AG30A86, AGN20A55, CD308 e AG30A91) avaliados em oito níveis de adubação nitrogenada. O experimento foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – PR e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo as doses de N (0, 60, 120, 180, 240, 300, 360 e 420 kg ha⁻¹) aplicadas nas parcelas principais e os genótipos semeados nas subparcelas. As variáveis analisadas no experimento foram: o índice de área foliar, as características fitotécnicas, os componentes do rendimento, a exportação de nutrientes e os caracteres bromatológicos dos genótipos de milho destinados a produção de grãos e silagem. Em relação ao modelo matemático, as estimativas de produtividade potencial e deplecionada de grãos e silagem de milho, basearam-se nos valores diários de temperatura, insolação, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação, para o município de Dois Vizinhos – Paraná. As simulações foram realizadas inicialmente utilizando-se um modelo matemático baseado em modelos e informações da literatura (1) e em seguida, propôs-se um modelo alternativo (2), por meio da alteração dos parâmetros de índice de área foliar, graus dia para o florescimento e número de plantas por metro linear, obtidos no experimento realizado. Os dados simulados foram avaliados por intermédio do coeficiente de correlação de Pearson, índice de concordância de Willmott, desvio padrão, quadrado médio do erro e índice de desempenho de Camargo. Em função dos resultados obtidos pode-se concluir que: a adubação nitrogenada altera as características agrônomicas e bromatológicas avaliadas nos diferentes cultivares. A produtividade de matéria seca da silagem não foi influenciada pelas doses de nitrogênio, porém a produção de grãos foi alterada, sendo a máxima eficiência técnica para a produtividade de grãos (13.059 kg ha⁻¹) obtida com a dose de 146 kg de N ha⁻¹. O modelo alternativo, calibrado com dados experimentais, pode ser utilizado na simulação das produtividades de grãos e silagem da cultura do milho, assim como para estimar as exigências em nitrogênio para a produção de grãos, apresentando maior eficiência e precisão, em relação ao modelo da literatura. No entanto, as estimativas de requerimento de nitrogênio devem sofrer ajustes para adequar o modelo aos dados verificados.

Palavras-chave: Modelagem, Nitrogênio, *Zea mays*, L.

ABSTRACT

SILVA, Marciela Rodrigues. Deterministic model for estimation of nitrogen in corn grain yield and silage production. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

In order to assess the need for nitrogen fertilizer to produce grain and silage and a mathematical model for estimating potential productivity and depleted in the corn crop, an experiment was conducted using four corn hybrids (AG30A86, AGN20A55, CD308 and AG30A91) evaluated at eight levels of nitrogen fertilization. The experiment was conducted at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná - PR and the experimental design used was randomized blocks with split plots and N levels (0, 60, 120, 180, 240, 300, 360 and 420 kg ha⁻¹) applied in main plots and subplots seeded genotypes. The variables analyzed in the field experiment were: leaf area index, the characteristics of agronomic parameters, yield components, the export of nutrients and bromatological characters of maize genotypes for grain yield and silage. Regarding the mathematical model, estimates of potential productivity and depleted grain and corn silage, were based on the daily values of temperature, solar radiation, solar radiation, atmospheric pressure and precipitation for the city of Dois Vizinhos - Paraná. The simulations were performed initially using a mathematical model based on models and literature information and then it was proposed an alternative model, by changing the parameters of leaf area index, degree days to flowering and number of plants per meter, obtained in the experiment. The simulated data were evaluated by means of the Pearson correlation coefficient, index by agreement of Willmott, standard deviation, mean square error performance index and Camargo. According on the results obtained it can be concluded that: nitrogen fertilization alter the agronomic characteristics and bromatological evaluated in different cultivars. The dry matter yield of silage was not affected by nitrogen levels, but grain production was influenced, and the maximum technical efficiency for grain yield (13059.30 kg ha⁻¹) was obtained with a dose of 146.12 kg N ha⁻¹. The alternative model, calibrated with experimental data can be used in the simulation of grain and silage yields of maize, as well as to estimate the nitrogen requirements for the production of grains, with greater efficiency and accuracy, compared to the usual model of the literature. However, estimates of nitrogen application should be adjusted to fit the model to actual data.

Keywords: Modeling, Nitrogen, *Zea mays*, L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Variação do índice de área foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) (a), área foliar, da planta (AFP, cm^2) (b), estatura de plantas (EP, cm) (c), diâmetro de colmo (DC, cm) (d), nos respectivos dias após a germinação e/ou estádios de desenvolvimento, para os híbridos AG30A26, AGN20A55, CD308 e AG30A91.....35
- Figura 2** - Efeito das doses de nitrogênio sobre o teor de clorofila nas folhas de milho.....43
- Figura 3** - Efeito das doses de N sobre o teor de proteína bruta na matéria seca da silagem.....44
- Figura 4** - Efeito das doses de nitrogênio sobre a produtividade de grãos da cultura do milho.....45
- Figura 5** - Efeito das doses de nitrogênio na produtividade de matéria verde da parte aérea da cultura do milho..... 45
- Figura 6** - Médias de variação do Índice de Área Foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) observadas e estimadas pelo modelo nº1 e modelo nº2 para os genótipos AG30A86, AGN20A55, CD308, AGN30A91. 61

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Híbridos, empresa produtora (EMP), base genética (BG), textura do grão (TG), média do número de dias para o florescimento pleno (MFP, dias), graus dias para o florescimento (GDF), média do número de dias até à maturação plena (MMP, dias), e aptidão dos híbridos..... 30
- Tabela 2** - Média dos híbridos de milho para os caracteres agronômicos massa seca de folha (MSF, g planta⁻¹), massa seca de colmo (MSC, g planta), massa seca de espiga (MSE, g planta⁻¹), teor de matéria seca de folha (TMSF, %), teor de matéria seca de espiga (TMSE, %), teor de matéria seca de colmo (TMSC, %) e teor de matéria seca da parte aérea (TMSPA, %).
..... 37
- Tabela 3** - Média dos híbridos de milho para os caracteres agronômicos produtividade de massa verde (MV, t ha⁻¹) e massa seca (MS, t ha⁻¹), partição de matéria seca de colmo (%), espigas (%) e folhas (%)..... 38
- Tabela 4** - Potencial de hidrogênio (pH), teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) proteína bruta (PB), estrato etéreo (EE), e nutrientes digestíveis totais (NDT) de silagens de diferentes híbridos de milho..... 40
- Tabela 5** - Média dos híbridos de milho para os caracteres agronômicos número de espigas (NE, ha⁻¹ x 1000), diâmetro de espigas (DE, mm), número de grãos por fileira (NGF), massa de cem grãos (MCG), comprimento de espiga (CE, cm), massa de espigas (ME, kg), massa de grãos (MG, kg ha⁻¹) e número de fileiras por espiga (NF)..... 40
- Tabela 6** - Extração média de nutrientes pelos híbridos de milho destinados a produção de grãos e silagem nos diferentes níveis de produtividade..... 41
- Tabela 7** - Parâmetros utilizados para estimação da quantidade necessária de nitrogênio para a produção de grãos e produção de silagem para o modelo 1..... 55
- Tabela 8** - Parâmetros utilizados, para estimação das produtividades e quantidade necessária de nitrogênio para produção de grãos e silagem, no Modelo2..... 56
- Tabela 9** - Critérios de interpretação do desempenho dos modelos pelo índice c (adaptado de Camargo; Sentelhas, 1997)..... 58

Tabela 10 – Produtividade real (PR), potencial (PP) e deplecionada (PD) de grãos (G) e silagem (S), necessidade de nitrogênio e ciclo da cultura (Dias), observadas no experimento e estimadas pelos modelos.....59

Tabela 11 - Médias de produtividade, necessidade de nitrogênio e ciclo da cultura para produção de grãos, usadas na avaliação do Modelo nº 1 e Modelo nº 2, e respectivos quadrado médio do erro (RMSE), índice de concordância de Willmott (ID), correlação de Pearson (r) e índice de desempenho de Camargo (C).....62

Tabela 12 - Médias de produtividade, necessidade de nitrogênio e ciclo da cultura para produção de silagem, usadas na avaliação do Modelo nº 1 e Modelo nº 2, e respectivos quadrado médio do erro (RMSE), índice de concordância de Willmott (ID), correlação de Pearson (r) e índice de desempenho de Camargo (C).....64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 MODELOS E MODELAGEM.....	15
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS.....	15
2.3 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA MODELAGEM.....	16
2.4 MODELAGEM NA AGRICULTURA.....	17
2.5 MODELAGEM NA CULTURA DE MILHO.....	18
2.6 NITROGÊNIO NA PLANTA.....	19
2.7 ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO.....	21
2.8 ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO....	25
3 ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO.....	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	28
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
3.5 CONCLUSÕES.....	47
4 ESTIMAÇÃO DA NECESSIDADE DE NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS E SILAGEM.....	48
4.1 INTRODUÇÃO.....	48
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
4.2.1 Modelagem Matemática.....	50
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.4 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICES.....	82
ANEXOS.....	87

1 INTRODUÇÃO

A composição química, o valor nutritivo e o potencial produtivo tornam o milho uma das mais importantes culturas produzidas e consumidas no mundo. No Brasil, esse cereal é cultivado em cerca de 12,9 milhões de hectares, com produção para safra 2010/2011 de aproximadamente 31,51 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 4,0 toneladas por hectare (CONAB, 2011). Graças a sua diversidade de aplicações, a cultura assume relevante inserção social e econômica, sendo largamente utilizada na indústria de amidos, na produção de energia proveniente de biomassa, na alimentação humana e, principalmente, na produção animal, onde os grãos são caracterizados como um dos mais importantes componentes energéticos na fabricação de rações e, o elevado rendimento de matéria seca, associado às características bromatológicas, faz com que a produção de volumosos seja um dos principais destinos da cultura, nas propriedades agropecuárias.

Nos últimos anos, submeteu-se a cultura do milho a inúmeras transformações tanto tecnológicas como de melhoramento, resultando em genótipos com alto potencial de produtividade e de adaptação aos vários locais e épocas de cultivo. Contudo, o seu rendimento médio, no Brasil, é considerado baixo, quando comparado ao de outros países produtores, demonstrando que seu potencial genético não está sendo realmente expressado. Isso pode ser explicado por questões referentes à população de plantas (VIEIRA et al., 2010), à disponibilidade hídrica (BERGONCI et al., 2001), o controle de pragas, doenças e plantas daninhas (MARTIN et al., 2011) e o manejo inadequado dos nutrientes tanto do próprio solo como dos fertilizantes, principalmente o nitrogênio (ARAÚJO et al., 2004), pois em termos de nutrição, o nitrogênio (N) é o nutriente que mais frequentemente influencia na resposta em produtividade de grãos e um dos componentes que mais onera o custo de produção da cultura (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; SILVA et al., 2005).

Considerando que os cultivos agrícolas são extremamente dependentes das condições nutricionais e variáveis ambientais, o suprimento inadequado de nutrientes e a ocorrência de eventos climatológicos adversos podem

causar prejuízos às culturas. No caso do milho, a grande quantidade de cultivares disponível no mercado (EMBRAPA, 2010) e a variabilidade de suas características agronômicas, são aspectos que evidenciam a necessidade de informações adequadas para indicação da melhor eficiência de uso dos genótipos nos diversos sistemas de produção, assim como as recomendações de manejo mais apropriadas, principalmente no que se refere ao uso de fertilizantes.

No entanto, a possibilidade de execução de experimentos em todos os locais e épocas, para testar todas as variáveis de manejo e genótipos, faz-se inviável, devido ao custo de instalação, condução e tempo disponível desde a sua realização até a divulgação dos resultados para os produtores. Além disso, a variabilidade climática interanual e a elevada taxa de substituição das cultivares de milho (STORCK et al., 2005) limitam a aplicação dos resultados de um ano para o outro e em outras localidades. Nesse sentido, a simulação por meio de modelos de culturas é útil na otimização das práticas de manejo, ao simular quantitativamente a produtividade das culturas sob diferentes ambientes, ampliando, dessa forma, a capacidade de extrapolação dos resultados, orientando a pesquisa e potencializando resultados.

Em função disso, o planejamento das atividades agrícolas, juntamente com a previsão de cenários futuros, permite maximizar os lucros e reduzir os riscos associados às imprecisões climáticas demandado por um maior nível de controle ambiental, devido ao incremento no crescimento das plantas. Além disso, os modelos de culturas orientam o processo de planejamento de experimentos realizados a campo, melhorando a eficiência do sistema.

Entre as vantagens de uso dos modelos de simulação, encontra-se a possibilidade de economizar tempo, esforços e recursos necessários para a tomada de decisões relacionadas ao manejo das culturas (PESSOA et al., 1997). A estimativa da produtividade e da quantidade de adubação nitrogenada necessária para o suprimento nutricional pode ser realizada por meio de modelos matemáticos, os quais presumem a absorção e a exportação dos nutrientes pelo milho, simulando os principais processos envolvidos na dinâmica dos nutrientes no solo e na planta, tornando-se uma alternativa para melhorar o aproveitamento destes nutrientes em função das condições de solo e clima da região.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a necessidade de adubação nitrogenada para produção de grãos e silagem e o uso de um modelo matemático determinístico de estimação de produtividade potencial e deplecionada na cultura do milho.

CAPÍTULO I

MODELOS DE CRESCIMENTO, MODELAGEM E ADUBAÇÃO NITROGENADA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELOS E MODELAGEM

A confecção de modelos é proveniente da análise de sistemas e atributos de interesse particular, cuja finalidade é conceituar, integrar e generalizar o conhecimento específico por intermédio da simplificação da realidade, resultando em uma ferramenta de auxílio para simular diversos cenários (DOURADO NETO et al., 2003). Conceitualmente, os modelos podem ser definidos como representações idealizadas para situações do mundo real (CAIXETA FILHO, 2001), ou ainda, equações ou conjunto delas, que representam quantitativamente as suposições e hipóteses relativas a um sistema real, enquanto que modelagem caracteriza-se como o processo de desenvolvimento desses modelos (ANDRADE et al., 2009). O sistema, por sua vez, é o conjunto de componentes e suas inter-relações, que são selecionados e agrupados com o objetivo de estudar alguma parte do mundo real. A interpretação dada aos fenômenos envolvidos no sistema está intimamente ligada e correlacionada ao nível de exatidão obtida na sua descrição (MARTIN et al., 2012). A simulação inclui os processos necessários para a operacionalização ou solução do modelo visando simular o que acontece no sistema (WIT, 1982).

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos podem ser classificados em matemáticos e de simulação. O primeiro se refere às representações matemáticas de um sistema podendo ser subdividido em: (i) empíricos, baseados em dados observados; (ii) estocásticos, onde o processo é descrito por intermédio das leis de probabilidade e (iii) mecanísticos, em que as leis da física, química e biologia influenciam no sistema (PAUSTIAN; PARTIN; PERSSON, 1992). A utilização de vários modelos matemáticos faz com que os modelos de simulação sejam mais complexos

(ADDISCOTT, 1993), sendo, subdivididos em (i) determinísticos, em que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido, e (ii) estocásticos em que a incerteza é considerada na sua estrutura. Essas duas categorias mencionadas podem ainda ser subdividas conforme características peculiares de cada caso, sendo citados como (i) mecanísticos, que procuram descrever os mecanismos envolvidos no processo e (ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo.

2.3 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA MODELAGEM

Vantagens como a economia de tempo, trabalho e recursos de ordem financeira implicam em um crescente uso, proposição e validação de modelos. Com a utilização de técnicas de modelagem é possível fazer previsões de interesse particular, visando facilitar a tomada de decisão, direcionar a pesquisa, por intermédio do rastreamento oferecido durante a composição do modelo e fornecer subsídios teóricos para estudos de maior amplitude e complexidade (THORNLEY, 1998; DOURADO NETO, 1999; BARRIONI et al., 2003). Os modelos também podem ser utilizados para analisar os efeitos de diferentes estratégias, apresentando inúmeras vantagens para uma análise econômica, em comparação aos dados oriundos dos experimentos convencionais. A modelagem permite realizar descrições quantitativas e o entendimento de sistemas agrícolas, auxiliando no apontamento de áreas onde o conhecimento é escasso e ajudando na elaboração de experimentos mais adequados e efetivos (DOURADO NETO et al., 1998).

Durante a instalação, condução, avaliação e análise de resultados em experimentos a campo, a exigência em infra-estrutura é maior, enquanto o número de parâmetros avaliados é inferior que na execução de um programa computacional. Nesse último, os valores utilizados como parâmetros de entrada e cada um dos valores calculados no decorrer do processo até a obtenção do resultado final, possibilitam a identificação de lacunas do conhecimento, relevantes na condução de novas investigações experimentais (MARTIN et al., 2012). Entretanto, apesar da grande aplicabilidade e custo inferior, quando comparado a experimentação em campo, os modelos não devem ser considerados substitutos dos experimentos, mas

uma técnica que os complementa (SOLLER; FOLEGATTI; FARIA, 2001). Para tanto, a validação de modelos já existentes é fundamental para evitar a obtenção de tendências equivocadas e trata-se de um procedimento, eventualmente demorado que requer amplo conhecimento do problema e obtenção dos dados em campo. Além disso, a confiabilidade e exatidão do modelo empregado são proporcionais à base de dados usada em seu desenvolvimento (DOURADO NETO et al., 1998). Dessa forma, possíveis limitações na utilização da modelagem estão relacionadas ao custo de obtenção dos dados de entrada, a variabilidade espacial e temporal e a qualidade dos dados (BOOTE; JONES; PICKERING, 1996).

2.4 MODELAGEM NA AGRICULTURA

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos químicos, físicos e biológicos. A fim de se obter melhor conhecimento da dinâmica dos sistemas agrícolas, modelos de simulação, que consistem em muitos componentes e níveis de interação, são utilizados como ferramenta de grande potencial na área de sistemas cultivados, permitindo o estudo e entendimento do conjunto e estimando o desempenho de culturas em diferentes áreas e situações (SOLLER; FOLEGATTI; FARIA, 2001). O uso de modelos de simulação de culturas pode ser útil na tomada de decisões relacionadas a práticas de manejo e políticas de planejamento agrícola, racionalizando a produção e permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais (DOURADO NETO, 1999).

Os modelos de estimativa de produtividade e crescimento de culturas são utilizados por diversos pesquisadores na simulação de eventos fenológicos, produção de biomassa e rendimento de grãos (DOURADO NETO, 1999). Com base nas relações energia-planta, Doorenbos; Kassan (1994) desenvolveram um procedimento para estimar o rendimento potencial de diversas culturas, cuja utilização exige uma quantidade relativamente pequena de dados de entrada, o que facilita sua aplicação (VILLA NOVA; SANTIAGO; RESENDE, 2001). Os modelos de simulação e previsão de produtividades de culturas permitem relacionar condições ambientais com práticas de manejo e características de solo, realizando simulações de longo prazo, a um baixo custo.

O uso destes modelos tem demonstrado ser aplicável a várias situações de campo, para diversas culturas. Como exemplo do uso das técnicas de modelagem, Silva et al. (2009) propuseram um sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi, em que o sistema foi elaborado a partir da sistematização e modelagem de informações contidas na literatura e do conhecimento atual sobre a adubação e nutrição da cultura. Thornton; MacRobert (1994) desenvolveram uma metodologia para estimar o valor econômico da informação referente ao manejo ótimo do nitrogênio em milho, empregando o modelo CERES Maize. Em se tratando de outras fontes de fertilização nitrogenada, alguns modelos são capazes de simular a utilização de adubação verde e de dejetos de animais. Bowen et al. (1993) adaptaram o modelo CERES Maize para simular o uso de adubação verde em milho. Testaram o modelo com dez tipos de leguminosas e avaliaram a absorção de nitrogênio pelo milho, assim como a mineralização e a lixiviação desse nutriente. Além desses modelos utilizados em culturas, podem ser destacados os modelos utilizados na produção animal, como o apresentado por Freitas et al. (2005), que destacam o crescimento populacional do rebanho bovino brasileiro.

2.5 MODELAGEM NA CULTURA DE MILHO

A cultura do milho possui alguns exemplos de aplicações práticas da modelagem no Brasil, porém a pesquisa nesse sentido é passível de aprofundamento, devido à grande importância da cultura para a economia. Dentre os estudos realizados, diversos autores apresentam modelos importantes que auxiliam na construção de outros modelos, bem como o desenvolvimento regional e as aplicações práticas dos resultados da modelagem. Alguns estudos avaliam o acúmulo de matéria seca e a produtividade de grãos de milho (DOURADO NETO et al., 2005), estimam a produtividade potencial para a cultura do milho de acordo com valores médios diários de temperatura do ar e radiação solar (ASSIS et al., 2006), as produtividades potencial e deplecionadas para a cultura do milho no Rio Grande do Sul (BONNECARRÈRE et al., 2007), a área foliar na cultura do milho (MANFRON et al., 2003), a produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço

hídrico no solo (DOURADO NETO et al., 2004), dentre outros. Porém, são raros os casos em que existe a estimativa de produtividades potenciais e deplecionadas para a cultura do milho destinada a produção de silagem e grãos, de forma a relacionar esse conhecimento com a extração e a necessidade de adubação de macro e micronutrientes.

Para os estudos que relacionam a modelagem com as exigências nutricionais, Santos et al. (2008), apresentaram um modelo que considera a recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja, tomando-se como base o equilíbrio entre o requerimento de nutrientes pela planta e os seus suprimentos pelo solo e por resíduos orgânicos. Da mesma forma, Oliveira et al. (2005), desenvolveram um sistema para estimar doses de nutrientes a serem recomendadas para a cultura da bananeira por meio do método do balanço nutricional, que contempla a diferença entre a demanda de nutrientes pela cultura e seu suprimento pelo solo e resíduos vegetais. Almeida et al. (2011), propuseram um modelo para simular o crescimento do capim Tanzânia, para diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada, a partir de unidades fototérmicas. Em relação às pesquisas que relacionam a modelagem e a obtenção das quantidades de nitrogênio necessárias para o desenvolvimento de uma cultura, Dourado Neto et al. (2005), apresentam um modelo que considera a rebrota de pastagens submetido aos sistemas de desfolha intermitente. Contudo, novos estudos são necessários para ampliar os horizontes suprindo-se as lacunas do conhecimento.

2.6 NITROGÊNIO NA PLANTA

O nitrogênio (N) é elemento essencial para as plantas, sendo constituinte das mais importantes biomoléculas e inúmeras enzimas, tais como amidos, ácidos nucléicos, nucleotídeos, ATP, NADH, NADPH, clorofila e proteínas (TAIZ; ZEIGER, 2004), afetando a formação de raízes, a fotossíntese, a produção e translocação de fotoassimilados, taxa de crescimento foliar e produção de matéria seca. O metabolismo do N em relação ao crescimento e rendimento da planta pode ser associado à manutenção da capacidade fotossintética, em particular pela participação do N na molécula de clorofila e pelo estímulo ao crescimento e

desenvolvimento de drenos reprodutivos. Além de fazer parte da estrutura de proteínas e outros compostos orgânicos, o N pode estar presente, na planta, como elemento regulatório de reações de síntese, ou ainda ser armazenado no vacúolo, atuando no equilíbrio de cargas e na absorção de cátions e ânions (KERBAUY, 2004). Esse nutriente está associado dentre outras funções na planta, com o crescimento vegetativo, afetando as taxas de iniciação e expansão foliar (SCHRÖDER et al., 2000), o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (BUSATO et al., 2008). É componente quantitativo da fitomassa e ocupa a quarta posição após o carbono, o oxigênio e o hidrogênio na matéria seca das plantas. Interfere positivamente no crescimento radicular e, desta forma, permite que as raízes explorem maior quantidade de solo, melhorando a absorção de água e nutrientes (LARCHER, 2000).

A demanda de N pelas plantas varia de acordo com a espécie, sendo que a maioria dos ecossistemas agrários apresenta um expressivo ganho na produtividade após serem fertilizados com N. A assimilação desse nutriente é um processo essencial que controla o crescimento, desenvolvimento e rendimento das plantas. O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas nas formas iônicas NO_3^- e/ou NH_4^+ . A rota de assimilação do nitrato em plantas superiores envolve duas fases sequenciais, a conversão do nitrato à nitrito, mediada pela enzima nitrato redutase, cuja atividade depende dos carboidratos produzidos no processo fotossintético e do contínuo fornecimento de NO_3^- para as folhas, e a conversão do nitrito a amônia pela enzima nitrito redutase. A amônia é então assimilada nos aminoácidos glutamina e glutamato, responsáveis por translocar nitrogênio orgânico de fontes para drenos (LAM et al., 1996).

A capacidade fotossintética dos vegetais, e o posterior acúmulo e distribuição de massa seca e de N, estão fortemente relacionados aos fatores ambientais e à disponibilidade de nutrientes (NTANOS; KOUTROUBAS, 2002). No entanto, esses fenômenos são também influenciados por fatores internos da planta, como as diferenças na arquitetura e na fisiologia, que são características dependentes do genótipo, e também do estágio de desenvolvimento vegetal (HASEGAWA; HORIE, 1996).

Sendo uma gramínea, o milho é muito exigente em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. A produtividade da cultura do milho depende, entre outros fatores, da eficiência de canalização de carbono (C) e nitrogênio para o grão e da transformação desses elementos em compostos de reserva. A escassez de N afeta diretamente a capacidade fotossintética das plantas, evidenciando a enorme importância que tem esse elemento no processo produtivo. Contudo, o acúmulo de biomassa e rendimento das culturas é determinado pela assimilação de C e N. O carbono que não é consumido pela respiração aumenta o teor de matéria seca da planta e pode ser destinado para o crescimento ou reserva. O nitrogênio, por conseguinte, atua sobre o tempo de duração da folha, sua deficiência prejudica o movimento estomático e uma oferta excessiva causa aumento na respiração, ocasionando um menor rendimento fotossintético (LARCHER, 2000).

Em plantas de milho há uma intensa absorção de N nas fases iniciais de desenvolvimento, compreendendo os estádios fenológicos de cinco a seis folhas, onde um aporte significativo de N proporciona um maior índice de área foliar e maior número de grãos por espiga, culminando na manifestação do potencial genético da planta (COELHO, 2006). De acordo com Duete et al. (2008), o suprimento insuficiente a partir do estágio com quatro a cinco folhas pode afetar negativamente o rendimento de grãos, reduzindo a diferenciação do número de óvulos nos primórdios da espiga e o número de espigas por planta.

O aproveitamento do N pelo milho depende dentre outros fatores da capacidade de absorção e da remobilização em cada estágio do desenvolvimento da planta. Com isso, a forma de manejo exerce grande influência na eficiência de utilização deste nutriente. Por isso, a adubação nitrogenada deve ser realizada em época e quantidade adequada, reduzindo dessa forma, a contaminação ambiental, ocasionada eventualmente pela lixiviação do excesso de nitrato, e eliminando os custos com adubação em quantidade excedente às necessidades da cultura.

2.7 ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO

A produção mundial de milho está em torno de 872,39 milhões de toneladas, sendo 342,15 milhões nos Estados Unidos, 178 milhões na China e 55

milhões no Brasil (USDA, 2011). Apesar de o Brasil ser o terceiro maior produtor deste cereal, a média de produtividade nacional corresponde a 4.042 kg ha^{-1} , valor muito abaixo dos 8.495 kg ha^{-1} que representa a média de produtividade dos Estados Unidos (CONAB, 2010).

Entre os fatores responsáveis pela baixa produtividade da cultura do milho no Brasil está o baixo investimento e manejo inadequado do N, nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho e o que mais limita a produção de grãos (AMADO et al., 2002). Apesar de ser um macronutriente indispensável para a cultura do milho, a aplicação em larga escala de fertilizantes nitrogenados tem gerado inúmeras preocupações no que diz respeito à contaminação de lençóis freáticos (ANDRADE et al., 2009). Dependendo das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, o nitrogênio está sujeito a perdas que podem se estabelecer de diferentes formas, uma vez que esse nutriente pode ser lixiviado, volatilizado, absorvido pelas plantas ou imobilizado pelos microorganismos (CANTARELA; DUARTE, 2004). Além disso, doses elevadas de fertilizantes nitrogenados aumentam a quantidade de tecidos jovens e suculentos, ampliando o estágio vegetativo e retardando a fase de maturação, o que favorece a incidência de doenças (TOMAZELA, 2005). Do contrário, a deficiência de nitrogênio, torna a planta debilitada, retardando o seu crescimento e aumentando a sua suscetibilidade a patógenos. Por esse motivo, além de ser o nutriente exigido em maior quantidade é o que apresenta o manejo e a recomendação de adubação mais complexa.

A variabilidade das condições climáticas e de solo associada aos múltiplos processos que interferem na sua complexa dinâmica, disponibilidade e eficiência no aproveitamento do N pelas plantas, podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e na necessidade deste nutriente durante o ciclo da planta. Um dos principais problemas dos atuais sistemas de recomendação é que sua quantificação tem sido realizada antes mesmo da implantação da cultura, não havendo o monitoramento deste elemento após a semeadura. Esse método pode subestimar a demanda nitrogenada do milho, limitando o potencial produtivo da cultura ou eventualmente, superestimar, ocasionando redução dos lucros do produtor com a aquisição de adubos em quantidades desnecessárias e prejuízos ao ambiente, devido à contaminação dos mananciais pela lixiviação de nitrato (RAMBO;

SILVA; SANGOI, 2004). Por isso, as recomendações de manejo referentes à adubação nitrogenada devem ser cada vez mais específicas. Nesse sentido, a quantidade de nitrogênio necessário ao suprimento nutricional da cultura pode ser estimada por meio de modelos matemáticos capazes de presumir a absorção e exportação deste nutriente pelo milho em função das condições de solo e clima da região.

A disponibilidade de N no solo depende dos processos de mineralização e de imobilização, cujo balanço pode variar de acordo com o tempo, com a natureza do resíduo em decomposição, com a atividade microbiana do solo e com as características dos resíduos vegetais das culturas antecessoras (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Como a exigência é maximizada nos estádios iniciais de crescimento, é recomendado aplicar uma dose na semeadura, para suprir a necessidade inicial, e o restante em cobertura. As doses de N recomendadas na semeadura variam de 20 a 30 kg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004), no entanto, quando o milho é implantado em sucessão a gramíneas as doses utilizadas tem sido superiores para compensar os efeitos da imobilização temporária desse nutriente ocasionada pela presença de resíduos com alta relação C/N.

No sistema plantio direto, a época de aplicação de fertilizantes nitrogenados tem grande influência no aproveitamento deste nutriente pelo milho. Alguns resultados de pesquisas demonstram a necessidade de aumento da dose de N, no momento da semeadura, para suprir a carência inicial em função da imobilização, mas mantendo elevado fornecimento em cobertura, especialmente nos estádios iniciais da cultura que são de extrema importância para a definição da produção potencial (BORTOLINI et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2008). Outros autores relatam vantagens na aplicação de N em pré-semeadura do milho (SÁ, 1996; SILVA et al., 2006). No entanto, esta prática está associada a perdas por lixiviação, podendo comprometer a produtividade de grãos em solos arenosos ou em anos com elevada precipitação pluviométrica após a aplicação deste nutriente.

A eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas também deve ser considerada durante o planejamento da adubação nitrogenada. Dados de pesquisa indicam que, em média, 50 a 60% do N aplicado é aproveitado pelas plantas (COELHO; FRANÇA; BAHIA FILHO, 1991), estando na

dependência das formas de aplicação e parcelamento desta adubação, porém a variabilidade dessa resposta depende de vários fatores. De acordo com Bastos et al. (2008), o milho cultivado na safra 2003/2004 aproveitou 11 e 18% do N aplicado, sendo exportado pela parte aérea vegetativa, e 34 e 47% pelos grãos para os tratamentos 30-90 e 60-60 kg de N ha⁻¹, que correspondem a aplicação em semeadura e cobertura, respectivamente, isso implica que grande quantidade do N aplicado permaneceu no solo, ou foi perdida por lixiviação, volatilização, desnitrificação ou erosão.

A resposta ao manejo de N é muito variável, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são altamente influenciados pelo ambiente (ARGENTA et al., 2003). O uso de modelos matemáticos para estimar o potencial de resposta do milho a adubação nitrogenada seria uma forma de prever as respostas da cultura às condições de solo e clima de uma determinada região. Por isso, a elaboração de um modelo que se adapte bem a região, é uma forma de aumentar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados para a cultura do milho.

A recomendação da adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do milho de sequeiro para altas produtividades varia de 60 a 100 kg de N ha⁻¹ e em cultivo irrigado, doses de 120 a 160 kg ha⁻¹ podem ser necessárias para obtenção de elevadas produtividades (COELHO, 2006). Estudos com doses de N em área irrigada por pivô central foram conduzidos na região de Cruz Alta-RS, durante dois anos consecutivos, sendo a máxima produtividade de grãos de milho sob irrigação, obtida com as doses de 243 e 248 kg ha⁻¹, contudo as maiores rentabilidades foram obtidas com 156 e 158 kg de N ha⁻¹ (PAVINATO et al., 2008). Fernandes; Buzeti (2005), estudando o efeito de níveis de nitrogênio sobre a produtividade de milho em solo argiloso, obtiveram a máxima eficiência técnica com a dose de 142 kg ha⁻¹ com uma produtividade de 6.992 kg ha⁻¹. Esses dados confirmam que doses entre 140 e 160 kg de N ha⁻¹ são aquelas que melhor respondem em produtividade e rentabilidade ao produtor para áreas com alto potencial produtivo.

2.8 ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO

Como características da cultura do milho utilizada para silagem estão: (i) produção de grande quantidade de massa seca por unidade de área, podendo chegar a 21 t ha⁻¹ (ZOPPOLLATTO, 2007); (ii) boa qualidade energética, variando de 66 a 71% de nutrientes digestíveis totais (NDT) (BALL; HOVELAND; LACEFIELD, 2007; FONTANELLI et al., 2009), resultante do baixo teor de fibra (mínima 65,3 e máxima 72,8 - PEIXOTO et al., 1999), (iii) bons padrões de fermentação, além de apresentar elevado valor nutritivo (proteína bruta: 7-9%; Fibra detergente ácida: 23-30%; fibra detergente neutra: 48-58%, nitrogênio digestível total: 66-71% e valor relativo da forragem: 105-138%; BALL; HOVELAND; LACEFIELD, 2007; FONTANELLI et al., 2009), sendo uma das forrageiras mais usadas para confecção de silagem.

Na produção de silagem ocorre remoção quase que total da parte vegetativa, promovendo alta extração e exportação de nutrientes e, conseqüentemente, problemas de fertilidade serão mais intensos e se manifestarão mais rapidamente em relação às áreas de produção de grãos, principalmente se uma mesma área for utilizada para produção de silagem durante anos consecutivos sem um sistema de manejo de solo e adubação adequados. O conhecimento da quantidade total de nitrogênio absorvido permite estimar as proporções que serão exportadas por meio da colheita dos grãos e pela remoção da parte vegetativa.

Nesse sentido, a remoção da biomassa do milho extrai grande parte dos nutrientes, sendo a eficiência da adubação nitrogenada influenciada por diversos fatores como pH do solo, teor de matéria orgânica, conteúdo de água no solo, temperatura, fonte de nitrogênio e a forma de parcelamento da adubação nitrogenada. Em trabalho desenvolvido por Melo et al. (1999), na região de sul de Minas Gerais, os autores constataram que as formas de parcelamento da adubação nitrogenada não interferiram na qualidade da silagem produzida, mas o aproveitamento do N foi diretamente influenciado pela dose e época de fornecimento. Isso demonstra que o importante é realizar a adubação nitrogenada na quantidade e na época ideal para a cultura.

A produtividade esperada de silagem em uma área pode ser estimada com certa margem de confiabilidade quando se conhece a tecnologia utilizada pelo agricultor. Nessa avaliação, deve-se levar em conta o manejo de solo e água, cultivares adaptadas e práticas culturais utilizadas pelos agricultores, para com isso se predizer um bom retorno do investimento em fertilizantes nitrogenados (MARTIN; PAVINATO, 2009).

A concentração de N na parte aérea (grão + palhada) do milho, para altas produções é de 1,18% e 1,06%, respectivamente (COELHO, 2006). Para cálculo da quantidade de N a ser aplicada para silagem, recomenda-se o valor de 1 a 1,2% de N na planta como adequado. Assim, para a produtividade de 16 t de massa seca ha^{-1} (em torno de 8 t de grãos ha^{-1}) a planta retira do solo em torno de 200 kg de N ha^{-1} . Outro parâmetro necessário para avaliar a necessidade de adubação nitrogenada é a quantidade de N que o solo é capaz de fornecer para a cultura. Os solos tropicais disponibilizam, em média, cerca de 60 a 80 kg de N ha^{-1} (COELHO et al., 1991; COELHO, 2006), quantidade suficiente para produzir de 6 a 8 t de massa seca ha^{-1} (3 a 4 t de grãos ha^{-1}).

Um terceiro parâmetro a estimar é a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas, ou seja, a quantidade de N na planta proveniente dos fertilizantes. Resultados de pesquisa realizada com 15N (COELHO et al., 2006), indicam que, em média, 50 a 60% do N aplicado, na forma de uréia, foram aproveitados pelas plantas. Com o aproveitamento de 60%, seria necessária uma adubação da ordem de 200 kg de N ha^{-1} , que corresponde 444 kg de uréia ha^{-1} para essa produção de 16 t de massa seca ha^{-1} . Deve-se ressaltar que solos cultivados com leguminosas exigem menor adubação nitrogenada, pois apresentam maiores quantidades de nitrogênio proveniente dos resíduos.

Em relação a épocas de aplicação de N para o milho silagem, as recomendações são as mesmas que para a produção de grãos, ou seja, uma dose em semeadura (até 40 kg ha^{-1}) e o restante em cobertura, podendo ser em uma, duas ou até três aplicações, conforme a dose recomendada. Quanto as doses a serem aplicadas, para silagem a quantidade deverá ser maior que para grãos, para compensar a exportação na parte vegetativa da planta, pois em torno de 70% é translocado para o grão e os outros 30% do N ficam na parte vegetativa. Então,

como valor médio, deve ser acrescido esta proporção (30%) na dose recomendada para a produção de grãos para compensar a maior exportação na silagem. Destaca-se que a rotação de culturas é essencial e deve ser feita sempre, além de não utilizar a mesma área por anos consecutivos para produção de silagem, devido a não manutenção de cobertura e suscetibilidade à erosão desses solos.

A aplicação da modelagem para prever a resposta em produção de massa seca do milho para silagem, como já comentado, pode ser uma ferramenta muito útil para se definir a dose de N a ser aplicada à cultura. A simulação por meio de modelagem permite prever a produtividade da cultura do milho relacionando com a necessidade de adubação nitrogenada em função da absorção desse elemento e extração da área pela colheita.

Martin; Pavinato (2009), simulando as produtividades, crescimento e desenvolvimento da cultura do milho para as condições de solo e clima da região sudoeste do Paraná, verificaram que as variações climáticas podem ocasionar reduções significativas na produção de matéria seca, em alguns casos ultrapassando 50% do potencial produtivo da cultura. A estimativa da produção de grãos potencial variou de 8.581 kg ha⁻¹ até 16.867 kg ha⁻¹, e a produção deplecionada de 3.853 kg ha⁻¹ até 10.803 kg ha⁻¹. Quanto à produção de silagem, o potencial de produção de fitomassa seca foi de até 30.000 kg ha⁻¹ com esse potencial sendo reduzido conforme se atrasa a época de semeadura, bem como quando se utilizam genótipos com ciclo precoce, assim como o observado para a produção de grãos. A quantidade estimada de nitrogênio necessário para a cultura do milho, para obtenção da produtividade potencial, variou de 248,44 até 488,36 kg de N ha⁻¹ para produção de grãos, e de 374,65 até 650,70 kg de N ha⁻¹ para produção de silagem. No entanto, como os fatores climáticos são os determinantes da produção das culturas, quando se considera a produtividade deplecionada, tem-se a necessidade de 111,58 até 312,79 kg de N ha⁻¹ para produção de grãos, e de 163,56 até 413,30 kg de N ha⁻¹ para produção de silagem, para os diferentes ciclos e épocas de semeadura usados na simulação.

CAPÍTULO II

3 ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO

3.1 INTRODUÇÃO

Apesar do elevado potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 15,9 e 65 t ha⁻¹ de grãos e forragem, respectivamente, alcançadas no Brasil em condições experimentais (SANGOI et al., 2003; PAZIANI et al., 2009) e por agricultores que utilizam tecnologias adequadas (COELHO et al., 2003), o que se observa é que a produção média brasileira desse cereal é muito baixa e irregular: 3 a 4 t de grãos ha⁻¹ e 10 a 45 t de massa verde ha⁻¹ (CONAB, 2011).

Entre os diversos fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho está a adubação, especialmente a nitrogenada, sendo decisiva para obtenção de altas produtividades de grãos e silagem, uma vez que as plantas apresentam crescimento rápido e acumulam quantidades elevadas desse nutriente. O N possui papel fundamental no metabolismo vegetal, por participar diretamente na biossíntese de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromos e clorofilas (CANTARELLA, 1993). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (SCHRODER et al., 2000).

Atualmente, as recomendações de adubação nitrogenada em cobertura nos cultivos de sequeiro para altas produtividades variam de 50 a 90 kg ha⁻¹ de N e, para o cultivo irrigado, de 120 a 150 kg ha⁻¹ (SOUZA et al., 2003). Os critérios utilizados para definir a quantidade a ser fornecida, costumam se basear no teor de matéria orgânica do solo, na expectativa de rendimento e na contribuição da cultura antecessora como fonte doadora de N (AMADO et al., 2002; CANTARELLA; DUARTE, 2004). No entanto, fatores como o uso de irrigação (SOUZA et al., 2003), a densidade de plantas (AMARAL FILHO et al., 2005) a relação C/N da cultura anterior (VITTI; TEIXEIRA; BARROS JÚNIOR, 2003), e a eficiência de absorção e

uso do N pelos genótipos, também influenciam na determinação da dose ótima do nutriente, dentre outros.

Entre as principais formas de N absorvidas pelas plantas destacam-se o nitrato (N-NO_3^-) e o amônio (N-NH_4^+), as quais representam menos de 2% do N total do solo (COELHO; FRANÇA, 1995), sendo que grandes modificações na disponibilidade e na necessidade desse nutriente podem ocorrer durante o desenvolvimento da planta, em função da variabilidade das condições meteorológicas e de solo, associada aos múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo e na sua relação com a planta (RAMBO et al., 2004).

De acordo com alguns autores, para cada tonelada de grãos produzida o milho requer, aproximadamente, 20 kg de N ha^{-1} (FANCELLI, 2000; SOUSA; LOBATO, 2004). No Brasil, as recomendações regionais de N apresentam variações, com indicação de doses entre 50 a 210 kg de N ha^{-1} (RAIJ et al., 1996; SOUSA; LOBATO, 2004). Essa variação reflete a diversidade de ambientes nos quais o milho é cultivado no país e a complexidade dos fatores que influenciam na dinâmica desse nutriente e, conseqüentemente, alteram a disponibilidade de N no solo e a eficiência das adubações.

No Paraná, as recomendações de nitrogênio têm sido realizadas com base em tabelas produzidas no RS e SC (SBCS, 2004) ou no estado de São Paulo (IAC, 1997). Contudo, nos últimos anos com o avanço nos sistemas de produção e o aumento no rendimento de grãos e silagem da cultura do milho, evidencia-se que os tetos produtivos usadas na idealização e calibração dessas tabelas são inferiores aos observados nos dias de hoje. Além disso, deve-se considerar que os solos paranaenses possuem características diferenciadas em relação aos demais, assim como manejo e clima próprios que podem alterar a dinâmica dos nutrientes disponibilizados as plantas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de doses de nitrogênio sobre as características agronômicas, bromatológicas e os teores de nutrientes nos tecidos de genótipos de milho destinados a produção de grãos e silagem.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizada no município de Dois Vizinhos (PR) no ano agrícola de 2010/11. O local está situado na região fisiográfica do terceiro planalto paranaense a 25° 44' S e 53° 04' W com altitude de 520 m. O clima predominante é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), conforme a classificação de Köppen (MAARK, 1968). O solo pertence à Unidade de mapeamento NITOSSOLO VERMELHO distroférico úmbrico, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado (BHERING et al., 2008) e as características químicas encontradas na camada superficial (0 a 0,20 m), antes da instalação do experimento, apresentavam: pH (CaCl₂)= 5,20; P= 20,57 mg dm⁻³; MO= 49,59 g dm⁻³; K= 1,08 cmol_(c) dm⁻³; Al= 0,00 cmol_(c) dm⁻³; H+Al= 4,61 cmol_(c) dm⁻³; Ca= 6,05 cmol_(c) dm⁻³; Mg= 3,19 cmol_(c) dm⁻³; CTC= 14,93 cmol_(c) dm⁻³ e V%= 69,12.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas principais tiveram como tratamento oito níveis de N (0; 60; 120; 180; 240; 300; 360; 420 kg ha⁻¹) e nas subparcelas foram semeados quatro híbridos de milho (Tabela 1).

Tabela 1 - Híbridos, empresa produtora (EMP), base genética (BG), textura do grão (TG), média do número de dias para o florescimento pleno (MFP, dias), graus dias para o florescimento (GDF), média do número de dias até à maturação plena (MMP, dias), e aptidão dos híbridos.

Híbridos	Empresa	BG	TG	MFP	GDF	MMP	Aptidão
CD 308	Coodetec	HD*	D**	68	800	145 a 155	G e S+
AG30A86	Agromen Tecnologia	HS	SD	68	841	110 a 136	G
AGN20A55	Agromen Tecnologia	HT	SD	68	843	106 a 132	G e S
AG30A91	Agromen Tecnologia	SM	SD	70	902	107 a 134	G

*HS: híbrido simples; HD: híbrido duplo; HT: híbrido simples; SM: híbrido simples modificado. **D: duro; SD: semi duro;+ G: grãos, S: silagem.

A adubação nitrogenada foi composta pelas doses estabelecidas para cada tratamento usando como fonte de nitrogênio a uréia (45% de N). A forma de aplicação foi a lanço e realizada manualmente, com ¼ da dose estabelecida para

cada tratamento na semeadura e o restante em cobertura, parcelada em três vezes, nos dias 11/11/2010, 23/11/2010 e 02/12/2010, correspondendo aos estádios fenológicos V4, V6 e V8, exceto na testemunha que não recebeu esse nutriente. A adubação de base, nas fileiras de semeadura, foi realizada com 100 kg de P_2O_5 ha^{-1} e 60 kg de K_2O ha^{-1} e em cobertura foram aplicados 30 kg de K_2O ha^{-1} .

A semeadura ocorreu sobre a aveia-preta (*Avena strigosa* L.), manejada com a aplicação do herbicida glifosato (2,5 L ha^{-1} do produto comercial), 30 dias antes da semeadura do milho, sendo o experimento instalado no dia 26/10/2010. O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de herbicida a base de atrazine na dosagem de 2,0 kg i.a. ha^{-1} , no dia 09/11/2010 (estádio fenológico V4).

Cada unidade experimental foi constituída por duas fileiras de cinco metros, e o espaçamento adotado foi de 0,72 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira, sendo uma fileira colhida para silagem (1/2 linha do leite) e a outra fileira para grãos após a maturidade fisiológica.

A partir do 15º dia após a emergência foram realizadas, quinzenalmente, determinações não destrutivas de comprimento e largura da lâmina foliar, estatura da planta e diâmetro do colmo em três plantas de cada unidade experimental. As avaliações foram realizadas nos dias 18/11/2010, 02/12/2010, 16/12/2010, 30/12/2010, 13/01/2011 e 27/01/2011, correspondendo aos estádios fenológicos V3, V7, V10, VT, R1 e R3 (RITCHIE et al., 1993).

A área foliar (A), expressa em m^2 , foi obtida medindo-se o comprimento (C), da base à extremidade, e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas (folhas verdes), sendo estimada aplicando-se a expressão: $A = C \times L \times 0,75$, onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não apresentam área retangular (MONDO et al., 2009). Em seguida, com o somatório das áreas de todas as folhas da planta determinou-se a área foliar por indivíduo (AFP, m^2) e, na sequência, dividindo-se esse valor pela área ocupada por cada uma das plantas, estimou-se o índice de área foliar (IAF, m^2).

A estimativa do teor de clorofila foi determinada por um medidor portátil modelo Minolta SPAD 502, que fornece leituras correspondentes ao teor do pigmento clorofila presente na folha, cujos valores são calculados com base na

quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda (650nm e 940nm), nas quais a absorção pela clorofila é diferente (MINOLTA, 1989). Os comprimentos de onda, escolhidos para medição do teor de clorofila, situam-se na faixa do vermelho, em que a absorbância é alta e não é afetada pelos carotenóides, e do infravermelho, em que a absorbância é extremamente baixa. A luz transmitida, que depende do tom verde da folha, é convertida em sinais elétricos e a razão das intensidades da luz transmitida nas duas regiões de comprimentos de ondas corresponde a um valor numérico, chamado de leitura SPAD (Soil Plant Analysis Development). As leituras foram realizadas na folha abaixo e oposta à primeira espiga nas subparcelas, quando os grãos estavam no ponto em que a linha do leite encontrava-se a $\frac{1}{4}$ da distância do ápice do grão até a sua base, e efetuadas em um a dois cm da borda lateral e no terço médio da folha.

A colheita para ensilagem foi realizada quando a maior parte dos grãos se encontrava entre os estádios pastoso e farináceo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Após o corte, todo material foi triturado em tamanho aproximado de 2 cm em ensiladeira comercial acoplada na tomada de força do trator. Utilizaram-se 128 silos experimentais de PVC, com 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura, sendo colocado areia seca no fundo do microsilo, objetivando a retenção de efluentes da silagem. A compactação do material foi realizada com bastão de madeira, e o fechamento, com tampas de PVC lacrados com lona plástica preta de polietileno e fita adesiva. Os silos foram pesados por ocasião do enchimento e armazenados em local ventilado, onde permaneceram por 68 dias até a sua abertura.

Para produção de silagem os caracteres agrônômicos avaliados foram: número de plantas colhidas para silagem, produção de matéria verde (MV, t ha⁻¹), matéria seca de folhas (g, planta⁻¹), matéria seca de colmo (g, planta⁻¹), matéria seca de espigas (g, planta⁻¹), teor de matéria seca do colmo (TMSC, %); teor de matéria seca de folha (TMSFA, %), teor de matéria seca de espiga (TMSE, %), produção de matéria seca (MS, t ha⁻¹); teor de matéria seca da parte aérea (PMSPA, %), partição de matéria seca do colmo (PMSC, %), partição de matéria seca de folhas (PFA, %) e partição de matéria seca de espigas (PE, %). A determinação da proporção dos componentes da planta foi realizada mediante a coleta ao acaso de uma planta de

cada subparcela para pesagem e posterior fragmentação em: colmo, folhas e espiga.

Aos 68 dias após a ensilagem, na abertura de cada silo, seu conteúdo de silagem foi homogeneizado, e em seguida retirou-se uma amostra de 250 g, que foi seca em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 55°C até a obtenção de massa constante. Posteriormente, essa amostra foi moída em moinho tipo Willey, com peneira de 1 mm, para a determinação da matéria seca a 105°C e realização das análises bromatológicas. Avaliou-se o teor de proteína bruta (PB), seguindo as metodologias descritas por Silva; Queiros (2002), os teores de N, P, K, Ca e Mg determinados segundo metodologia de Tedesco et al. (1995), o teor de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), utilizando o método de Van Soest (Van Soest, 1967; Van Soest; Jones, 1968; Van Soest, 1981; Van Soest, 1994), o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT), utilizando-se a fórmula $NDT = (53,1 * (ELL/2,2) + 31,4)$, onde a energia líquida de lactação (ELL) foi estimada pela equação de regressão $ELL = (1,044 - (0,0124 * FDA)) * 2,2$ (HARLAN et al., 1991) e, para determinação do pH adotou-se os procedimentos descritos por Silva; Queiroz (2002).

Quando as plantas atingiram o ponto de colheita para produção de grãos, colheu-se manualmente as espigas para determinação dos seguintes parâmetros: diâmetro da espiga (DIA, cm), número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por fileira (NGF), massa de espigas (ME, g), massa de grãos (MG, t ha⁻¹); estatura de plantas (EP, m), diâmetro do colmo (DC, cm), número de espigas (NE, ha⁻¹ x 1000), comprimento de espigas (COMP, cm); massa de cem grãos (MCG, g) e prolificidade (PROL). Os caracteres DIA, NF, NGF, ME, EE, EP, MCG foram obtidos a partir da média de cinco espigas escolhidas aleatoriamente dentre todas as colhidas. Para o cálculo do rendimento, a massa de grãos foi ajustada para 13% de umidade.

Após a análise da variância e, no caso de haver significância ($p < 0,05$), os fatores qualitativos foram comparados pelo teste DMS t ($p < 0,05$), enquanto os fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial, testando-se os modelos linear, quadrático e cúbico. Nos casos onde foi verificada a interação

entre os fatores genótipos e doses realizaram-se os desdobramentos por meio da análise de regressão polinomial.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O experimento desenvolveu-se sem que as plantas daninhas, pragas e doenças pudessem interferir no desempenho da cultura, isso foi resultado da utilização de defensivos aplicados preventivamente.

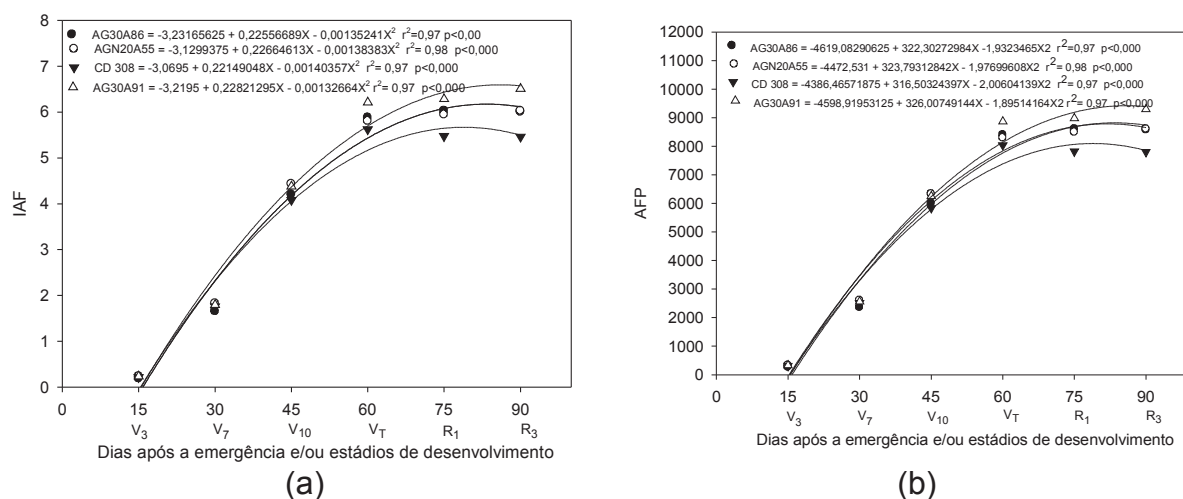
Pela análise da variância não se observou interação entre os híbridos e as doses para os caracteres: produção de matéria verde, matéria seca de folha, matéria seca de colmo, matéria seca de espiga, teor de matéria seca de folha, teor de matéria seca de espiga, teor de matéria seca do colmo, teor de matéria verde da parte aérea, produção de matéria seca, partição de matéria seca do colmo, partição de matéria seca de folhas, partição de matéria seca de espiga, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, proteína bruta, nutrientes digestíveis totais, estrato etéreo, potencial de hidrogênio, número de espigas, comprimento de espigas, diâmetro de espigas, número de fileiras, número de grãos por fileira, massa de espigas, massa de cem grãos, massa de grãos, teores totais de N, P, K, Ca e Mg nos tecidos e teor de clorofila nas folhas (Apêndice 01 e Apêndice 02). Nesse caso, justifica-se o estudo dos efeitos principais aplicando-se a análise de regressão para as doses de nitrogênio e o teste de comparação múltipla de médias para os cultivares.

Para as características de diâmetro do colmo, estatura de planta, área foliar por planta e índice de área foliar a interação foi significativa ($P < 0,05$, pelo teste F), indicando assim que cada híbrido possui um desempenho particular nos diferentes estádios de desenvolvimento (Apêndice 03).

De maneira geral, durante os estádios de pendoamento e início do enchimento dos grãos, o híbrido AG30A91 apresentou os maiores valores de IAF, seguido do cultivar AG30A86, AGN20A55 e CD 308, respectivamente (Figura 1). O híbrido que apresentou o menor índice de área foliar, durante o seu desenvolvimento, CD308, teve uma área fotossinteticamente ativa inferior aos demais cultivares avaliados, o que resultou em uma menor produção de

fotoassimilados e, conseqüentemente, menor produtividade de grãos e massa seca ensilável. Essas afirmações podem ser confirmadas pelas observações de Manfron et al. (2003), os quais relatam que a determinação da área foliar em uma cultura permite inferir sobre o seu potencial fotossintético. Dessa forma, o rendimento da mesma será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa. De acordo com Lauer et al. (2004), o milho deve alcançar valores de IAF entre 4 e 5 no florescimento para otimizar o seu desempenho agrônômico. Sendo que, no presente trabalho, o IAF total foi superior a cinco em todos os tratamentos.

Em geral, a área foliar aumenta até um limite máximo, no qual permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido a senescência das folhas. Conforme apresentado na Figura 1, a evolução dos parâmetros relacionados ao crescimento do milho da emergência até 10 folhas expandidas (V10) foi, praticamente, semelhante entre os híbridos analisados e à medida que a formação dos grãos progrediu, as menores taxas de acréscimo na área foliar verificadas pelo híbrido CD308 acentuaram as diferenças entre os genótipos. Verifica-se que o IAF aumentou com os estádios de desenvolvimento da cultura até o pendoamento cuja função atinge um ponto de máxima para então apresentar tendência contínua de estabilidade.



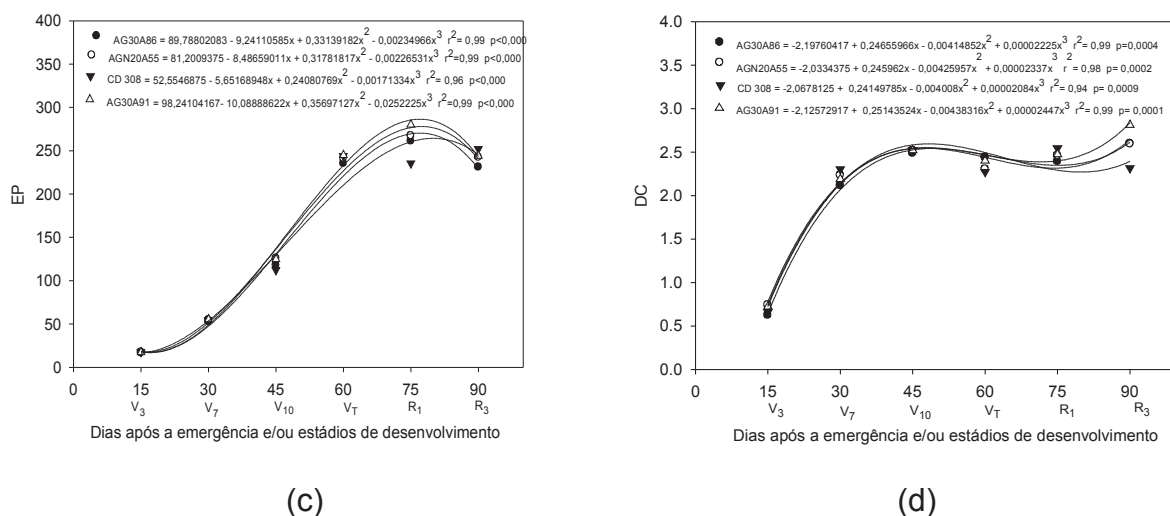


Figura 1 - Variação do índice de área foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) (a), área foliar, da planta (AFP, cm^2) (b), estatura de plantas (EP, cm) (c), diâmetro de colmo (DC, cm) (d), nos respectivos dias após a germinação e/ou estádios de desenvolvimento, para os híbridos AG30A26, AGN20A55, CD308 e AG30A91.

Em relação aos efeitos principais dos híbridos, verificou-se que o teste F foi significativo para os caracteres massa verde da parte aérea, matéria seca de folha, matéria seca de colmo, teor de matéria seca de folha, teor de matéria seca de espiga, teor de matéria seca de colmo, teor de matéria seca da parte aérea, produtividade de matéria seca da parte aérea, partição de matéria seca de colmo, partição de matéria seca de espiga, número de espigas, comprimento de espiga, diâmetro de espiga, número de fileiras, número de grãos por fileira, massa de espigas, massa de grãos, massa de cem grãos, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, estrato etéreo e nutrientes digestíveis totais, sendo os resultados apresentados na Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

A produção média de matéria seca de colmo e folhas foi maior para o híbrido AG30A91, com 149,96 e 53,28 $g planta^{-1}$, respectivamente (Tabela 2). Esse elevado rendimento de colmo, provavelmente, afetará a qualidade da silagem produzida, pois nas gramíneas os colmos apresentam baixo teor de proteína bruta e elevado teor de fibra em detergente ácido, os quais se relacionam com a qualidade do material (ALVAREZ et al., 2006). Diferenças entre os cultivares não foram evidenciadas quando foi avaliada a produção de matéria seca de espigas, cuja média observada foi de 145,93 $g planta^{-1}$.

Os maiores teores de matéria seca de folhas, espigas e colmo, foram obtidos pelos híbridos AG30A91, AG30A86 e AGN20A55, respectivamente. No que diz respeito ao teor de matéria seca da parte aérea obteve-se valores considerados baixos, individualmente atingindo em média 27%, sendo os maiores teores de matéria seca observados para os cultivares AG30A86 (28,74%) e AGN20A55 (28,61%) em relação ao CD 308 (26,02%) e AGN20A91 (26,09%) (Tabela 2). De modo geral, esperava-se maiores teores de MS no entanto, a determinação do ponto de colheita baseou-se apenas no estágio do grão, sem levar em consideração as variações quanto aos demais componentes da planta, como a maturidade das folhas e o conteúdo de água no colmo. Apesar disso, a produção média de matéria seca por área atingiu 19,68 t ha⁻¹. Resultados semelhantes foram evidenciados por Pinto et al. (2010), que obtiveram uma produtividade de 16,4 a 20,6 t de massa seca ha⁻¹.

Tabela 2 - Média dos híbridos de milho para os caracteres agronômicos massa seca de folha (MSF, g planta⁻¹), massa seca de colmo (MSC, g planta⁻¹), massa seca de espiga (MSE, g planta⁻¹), teor de matéria seca de folha (TMSF, %), teor de matéria seca de espiga (TMSE, %), teor de matéria seca de colmo (TMSC, %) e teor de matéria seca da parte aérea (TMSPA, %).

Híbridos	MSF		MSC		MSE	TMSF		TMSE		TMSC		TMSPA
AG30A86	46,09	ab*	127,62	b	152,28 ^{ns}	19,86	a	50,93	a	21,45	ab	28,74 a
AGN20A55	48,12	ab	138,71	ab	145,25	19,70	a	49,48	ab	22,35	a	28,61 a
CD308	40,62	b	102,50	c	149,53	18,28	b	52,38	a	16,70	c	26,02 b
AG30A91	53,28	a	149,96	a	136,68	20,06	a	45,86	b	20,21	b	26,09 b
Média	47,03		129,70		145,93	19,47		49,66		20,18		27,37
CV	17,78		28,26		25,25	13,53		16,41		20,97		11,52
DMS	11,74		18,26		18,36	1,31		4,06		2,11		1,57

* médias não seguidas pela mesma letra diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de DMS-t

A produção de massa verde é um dos primeiros parâmetros a ser observado quando se busca informação sobre determinado genótipo, pois além de ser um parâmetro para o dimensionamento de silos, também contribui para a diluição dos custos de implantação da cultura, por elevar a produtividade (FERRARI JUNIOR et al., 2005). Conforme apresentado na Tabela 3, os rendimentos médios de massa verde (71,85 t ha⁻¹) e matéria seca (19,68 t ha⁻¹) foram superiores as amplitudes de 31,37 a 44,96 t de MV ha⁻¹ e de 11,46 a 17,26 t de MS ha⁻¹ observadas na literatura (ALMEIDA FILHO et al., 1999; FERRARI JÚNIOR et al.,

2005). Os resultados obtidos no presente experimento, certamente, estão relacionados às boas condições climáticas ocorridas durante o experimento (Anexo 1) e a fertilidade do solo, que juntamente com a adubação aplicada proporcionou esta elevada produtividade. De maneira geral, o híbrido AG30A91 apresentou superioridade em relação aos demais para o rendimento total de massa ensilável, sendo as menores produtividades observadas pelo CD308. Esses resultados podem ser explicados, em parte, pela maior produção de matéria seca de colmo do AG30A91 e menor produtividade de folhas apresentado pelo cultivar CD308 (Tabela 2). Essas observações podem ser confirmadas pelos dados de literatura, os quais demonstram que as gramíneas que apresentam maior proporção de colmo em relação às folhas, de maneira geral, apresentam maior produção de matéria seca total (COSTA, 1990; CECATO, 1993).

Contudo, para produção de silagem de melhor qualidade, além da produtividade de massa, é de fundamental importância o conhecimento da composição da planta em termos de colmo, folha e espiga. Conforme observado na Tabela 3, no que se refere à proporção de espigas, componente mais importante em função da concentração energética, o híbrido que se destacou foi o CD308, com 50% e o cultivar AG30A91 com menor participação (40%). Resultados semelhantes foram evidenciados por Flaresso et al. (2000), que avaliando treze cultivares de milho, obtiveram uma participação percentual de espigas entre 33 e 48,9%.

Considerando que o colmo apresenta baixa qualidade nutricional o genótipo que apresentou menor participação desse componente na matéria seca foi o CD308, sendo os maiores valores atribuídos ao AG30A91 (Tabela 3). As proporções de colmo nas plantas de milho encontradas neste experimento estão acima das obtidas por Keplin (1992) em materiais de porte baixo (24,1%) e semelhante para os materiais de porte alto (40,2%). Observa-se ainda que as diferenças entre materiais em termo de folhas não foram significativas, apresentando valores médios em torno de 15%. Neumann et al. (2008), avaliando a participação de espiga, folhas e colmo obtiveram uma variação de 29,2 a 35,6% para a fração colmo, 19,2 a 23,6% para o componente folha e 43,8 a 47,3% para espiga.

Tabela 3 - Média dos híbridos de milho para os caracteres agrônômicos produtividade de massa verde (MV, t ha⁻¹) e massa seca (MS, t ha⁻¹), partição de matéria seca de colmo (%), espigas (%) e folhas (%).

Híbridos	MV		MS		Colmo		Espigas		Folhas
AG30A86	68,72	bc*	19,74	b	39,14	b	46,15	b	14,52 ^{ns}
AGN20A55	69,79	b	20,07	ab	41,67	ab	43,40	bc	14,81
CD308	64,45	c	16,89	c	34,72	c	50,63	a	14,32
AG30A91	84,42	a	22,01	a	43,70	a	40,27	c	15,80
Média	71,85		19,68		39,85		45,11		14,86
CV	13,87		20,89		14,66		14,49		19,72
DMS	4,96		2,04		3,05		3,25		4,0

* médias não seguidas pela mesma letra diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de DMS-t

Além da contribuição dos componentes estruturais da planta, a composição bromatológica é de fundamental importância na determinação da qualidade nutricional da silagem produzida. Os dados referentes às características bromatológicas dos genótipos analisados estão apresentados na Tabela 4.

Observa-se que houve diferença entre o pH das silagens, sendo a menor média dos valores encontrados atribuída ao híbrido AG30A91 (3,23%). Mesmo sem conhecimento da velocidade de queda do pH durante o processo de fermentação, todos os materiais avaliados podem ser classificados com base neste critério, de acordo com Borges et al. (1997), como silagens de boa qualidade.

Os teores de FDN das silagens avaliadas, que são importantes indicadores da quantidade total de fibra do volumoso, estando diretamente relacionados ao consumo dos animais, variaram entre 65,76% para o cultivar AGN20A55 e 60,24% para o híbrido CD308. Esses valores são superiores aos citados por Rosa et al. (2004), que encontraram uma variação entre 55,76 e 57,99% e semelhantes aos descritos por Silva et al. (2005), que relataram uma variação entre 51,49 e 64,14%.

Os teores de FDA, que indicam a digestibilidade da silagem por apresentar maior proporção de lignina (fração não digestível) nos materiais oscilaram de 32,49 a 37,12% para os híbridos AGN20A55 e AG30A91, respectivamente. Esses resultados foram superiores aos relatados por Cabral et al. (2002), que obtiveram uma variação de 23-30%.

O teor médio de proteína bruta na planta foi de 8,40%, tendo o híbrido CD308 apresentado maiores valores (8,67%). Esses resultados foram semelhantes ao relatado por Cecatto et al. (2007), que trabalhando com 20 híbridos de milho,

observou um teor médio de proteína bruta de 8,43%. Esses valores estão dentro do esperado, uma vez que, na silagem de milho, ocorre uma variação para proteína, normalmente entre 6% e 9% (JAREMTCHUK et al., 2005). Já os teores de extrato etéreo variaram entre 1,79 e 2,29% para os cultivares AG30A91 e AG30A86, respectivamente.

Os valores estimados de NDT dos materiais estudados apresentaram valores semelhantes aos citados por Jaremtchuk et al. (2005), e superiores aos relatados por Flaresso et al. (2000). Alguns híbridos revelaram-se superiores, como o CD 308 apresentando em média 65,44%.

Tabela 4 - Potencial de hidrogênio (pH), teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), e nutrientes digestíveis totais (NDT) de silagens de diferentes híbridos de milho.

Híbridos	pH	FDN	FDA	PB	EE	NDT
-----% na massa seca-----						
AG30A86	3,29	a 61,67	b 33,37	b 8,14	c 2,29	a 64,86
AGN20A55	3,34	a 65,76	a 32,49	b 8,51	ab 2,06	ab 64,44
CD308	3,36	a 60,24	b 33,20	b 8,67	a 2,19	a 65,97
AG30A91	3,23	b 64,22	a 37,12	a 8,27	bc 1,79	b 62,39
Média	3,30	62,97	34,04	8,40	2,08	64,41
CV	3,86	6,61	18,43	6,23	26,77	6,41
DMS	0,06	2,07	3,126	0,26	0,27	2,05

* médias não seguidas pela mesma letra diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de DMS-t.

Quanto à determinação dos componentes produtivos o número de espigas por hectare variou entre 60280 para o híbrido CD308 a 70860, para o híbrido AG30A91, com valor médio de 65780. No que diz respeito ao diâmetro de espigas, o cultivar que se destacou foi o AGN20A55 com maior valor (51,50) e o CD308 com menor valor (49,25) (Tabela 5).

Os híbridos de milho variaram entre si quanto ao número de grãos e o número de fileira de grãos, 36,91 grãos por fileira no AG30A91 e 32,87 no CD308. Da mesma forma, o cultivar AG30A91 apresentou maior valor médio de massa e comprimento de espigas. Essas características sugerem uma relação positiva com o

rendimento de grãos, pois o híbrido mais produtivo foi o AG30A91, com 12.864,09 kg ha⁻¹ (Tabela 5).

Tabela 5 - Média dos híbridos de milho para os caracteres agronômicos número de espigas (NE, ha⁻¹ x 1000), diâmetro de espigas (DE, mm), número de grãos por fileira (NGF), massa de cem grãos (MCG), comprimento de espiga (CE, cm), massa de espigas (ME, kg), massa de grãos (MG, kg ha⁻¹) e número de fileiras por espiga (NF).

Híbridos	NE	DE	NGF	MCG	CE	ME	MG	NF
AG30A86	66,69 a	50,86 ab	35,48 b	35,62 b	17,25 c	0,273 b	10553,30 bc	17,97 a
AGN20A55	65,18 ab	51,50 a	35,16 b	37,34 a	17,84 b	0,289 ab	10893,52 b	16,51 b
CD308	62,41 b	49,25 b	32,87 c	37,12 a	16,59 d	0,219 c	10211,86 c	15,01 c
AG30A91	68,83 a	50,45 ab	36,91 a	35,25 b	19,67 a	0,315 a	12864,09 a	18,68 a
Média	65,78	50,51	35,10	36,33	17,84	0,274	11130,69	17,04
CV	12,22	2,51	8,21	5,34	5,46	9,40	11,69	11,97
DMS	4,00	0,63	1,43	0,967	0,48	0,036	648,15	1,016

* médias não seguidas pela mesma letra diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de DMS-t

A prolificidade não foi influenciada significativamente pelos híbridos avaliados, assim como não diferiu entre os níveis de adubação, apresentando um rendimento médio de 0,98 espigas por planta. Da mesma forma, a concentração de nutrientes P e K na massa seca não apresentou significância para os tratamentos avaliados. Os teores médios de nutrientes extraídos pela cultura, em função dos híbridos avaliados, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Extração média de nutrientes pelos híbridos de milho destinados a produção de grãos e silagem nos diferentes níveis de produtividade.

Híbridos	Produtividade		Nutrientes exportados – Silagem		
	MS	MG	N	P	K
	kg ha ⁻¹		-----kg ha ⁻¹ -----		
AG30A86	19790ab*	10553,30b	386 b	44 ^{ns}	247 ^{ns}
AGN20A55	20070ab	10893,52b	416 b	47	239
CD308	16290b	10211,86b	346 b	40	240
AG30A91	22010a	12864,09a	516 a	48	253
Média	19680	11130,69	416	45	245
CV	20,13	12,14	44,90	32	37
DMS	5560	1897,55	93,11	20,65	130,3

* médias não seguidas pela mesma letra diferem a 5% de probabilidade de erro pelo teste de DMS-t

Para uma produtividade de 19680 kg de massa seca ha⁻¹ a exportação média dos nutrientes N, P e K foi de 416, 45 e 245 kg ha⁻¹, respectivamente, isso equivale a 21,13, 2,28, 12,45 kg ha⁻¹ sendo exportado para a produção de uma tonelada de silagem, o que corresponde a um teor de 2,11, 0,23, 1,24% de N, P e K na massa seca, respectivamente, sendo as concentrações de nitrogênio nos tecidos da planta maiores para o híbrido AG30A91 (2,35%). Observa-se, ainda, que o N e o P foram os nutrientes extraídos em maior quantidade pela cultura do milho, caracterizando uma alta exportação desses elementos nas áreas destinadas a produção de silagem, onde além dos grãos a parte vegetativa também é removida, exigindo atenção especial com relação ao manejo do solo e reposição desses nutrientes.

Ueno et al., (2011) descrevem que no milho, os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos, o P é quase todo translocado para os grãos (77 a 86 %), seguindo-se o N (70 a 77 %), o S (60 %), o Mg (47 a 69 %), o K (26 a 43 %) e o Ca (3 a 7 %). O restante permanece nos tecidos vegetativos, sendo exportado pela remoção da parte aérea, por ocasião da silagem. Dessa forma, para manutenção da fertilidade do solo, é essencial incrementar as quantidades de nutrientes na adubação de base do milho para forragem, realizar a rotação de culturas e não utilizar a mesma área por anos consecutivos para a produção de silagem, devido à remoção da cobertura vegetal, e aumento da susceptibilidade do solo aos processos erosivos.

Considerando o efeito significativo da adubação nitrogenada sobre a proporção de clorofila nas folhas, procedeu-se o estudo de regressão, evidenciando-se um acréscimo linear em relação às doses aplicadas, conforme apresentado na Figura 2.

De maneira geral, a estimativa do teor de clorofila na folha é utilizada para prever o nível nutricional de N nas plantas, pelo fato da quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com o teor de N na planta (PIEKIELEK et al., 1995). De acordo com Argenta et al. (2001) a leitura realizada com clorofilômetro estima com boa precisão o teor de clorofila nas folhas de milho, sendo o monitoramento do nível de N nas plantas eficiente parâmetro para separar plantas

com deficiência e com nível adequado desse nutriente. Em trabalho realizado por Argenta et al. (2001), relacionando as leituras obtidas pelo clorofilômetro com o rendimento de grãos, para diagnosticar o nível de N nas plantas de milho, constataram que as leituras no clorofilômetro acima de 45,4, 52,1, 55,3 e 58,0, respectivamente, para os estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas, 10 a 11 folhas e de espigamento, representam nível adequado de N. Dessa forma, as leituras realizadas no presente experimento de modo geral estiveram abaixo das indicadas como níveis adequados. No entanto, as produtividades obtidas estiveram próximas as observadas por esses autores para caracterizar os níveis críticos de N. Resultados semelhantes foram relatados por Rambo et al. (2008), que através de leituras realizadas na sexta folha completamente expandida, obtiveram índices variando de 36,0 a 49,5, para produtividades entre 7.700 a 12.800 kg ha⁻¹.

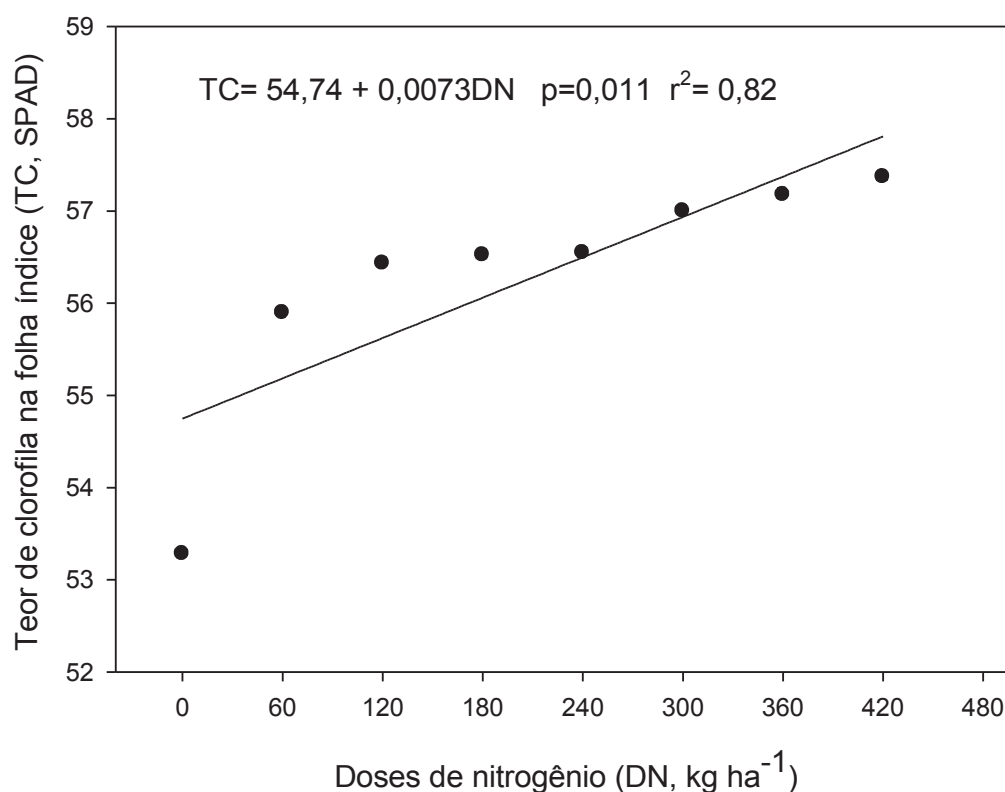


Figura 2 - Efeito das doses de nitrogênio sobre o teor de clorofila nas folhas de milho.

A adição de doses de nitrogênio aumentou linearmente o teor de proteína bruta na silagem (Figura 3). Esses resultados são similares aos descritos por Amaral filho et al. (2005), que trabalhando com dois espaçamentos, quatro

densidades populacionais e quatro doses de N em cobertura verificaram acréscimo na estimativa do teor de proteína com o aumento das doses de N.

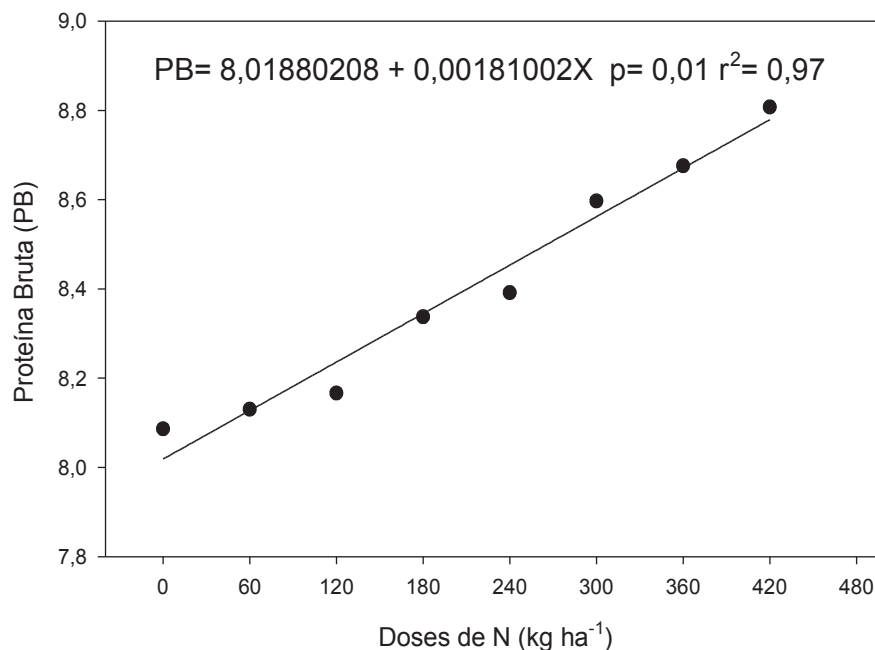


Figura 3 - Efeito das doses de N sobre o teor de proteína bruta na matéria seca da silagem.

A curva de resposta da variação do rendimento da cultura em função das dosagens crescentes de N aplicadas ao solo (Figura 4), apresentou efeito cúbico significativo ($p < 0,0000$), em que de acordo com a função de produção obtida, a máxima eficiência técnica para a produtividade de grãos ($13.059,30 \text{ kg ha}^{-1}$) seria obtida com a dose de $146,12 \text{ kg de N ha}^{-1}$, o que corresponde a um incremento de aproximadamente 200% em relação à testemunha, onde a produção média foi de $6.525,27 \text{ kg ha}^{-1}$. Esses resultados concordam com os obtidos em vários trabalhos de pesquisa realizados em solos argilosos, onde as doses que obtiveram melhores desempenhos foram entre 120 e $160 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (DUETE et al., 2008; PAVINATO et al., 2008).

Esse aumento demonstra que, apesar do solo possuir boa fertilidade e alto teor de MO ($49,59 \text{ g dm}^{-3}$), o que o classifica como de baixa resposta a adubação nitrogenada (CQFS RS/SC, 2004) houve considerável resposta a aplicação desse nutriente, em termos de rendimento de grãos. A menor produtividade observada foi de aproximadamente 6 t ha^{-1} de massa de grãos, no

entanto, esse valor encontra-se bem acima da produtividade média nacional dos últimos anos que foi de 4,23 t ha⁻¹ (CONAB, 2011).

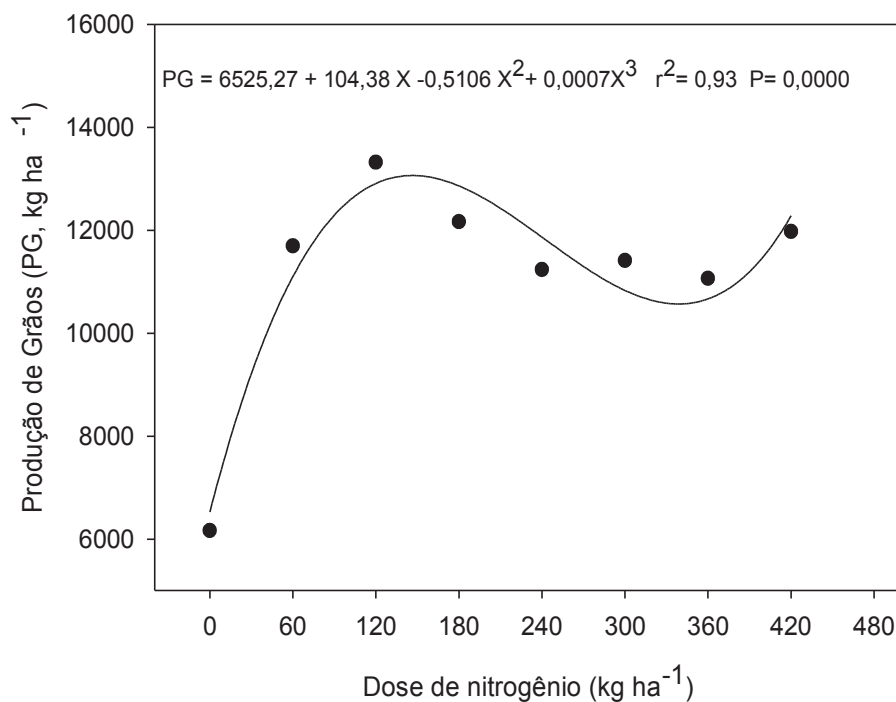


Figura 4 - Efeito das doses de nitrogênio sobre a produtividade de grãos da cultura do milho.

Conforme apresentado na Figura 5, nas avaliações referentes à produção de massa verde, a máxima eficiência técnica foi obtida com a aplicação de 350 kg N ha⁻¹, que resultou em uma produção de 76 t ha⁻¹, correspondendo a um acréscimo de, aproximadamente, 117,81 % em relação à testemunha.

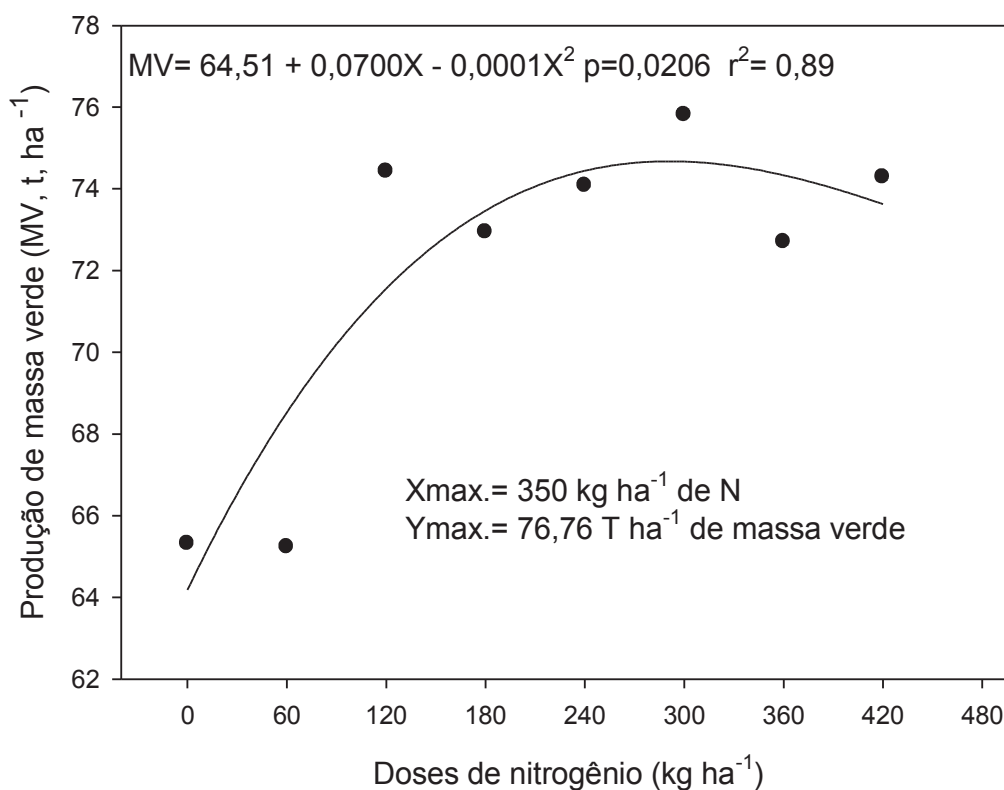


Figura 5 - Efeito das doses de nitrogênio na produtividade de matéria verde da parte aérea da cultura do milho.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições de estudo a adubação nitrogenada não influenciou na produção de matéria seca da parte aérea, apesar de ter interferido na produção de massa verde e no teor de proteína da silagem. No entanto, os elevados rendimentos de matéria seca ensilável, superiores a 16,29 t ha⁻¹ somente foram possíveis com o acúmulo e exportação superiores a 346 kg de N ha⁻¹.

Os cultivares de milho apresentaram características distintas quanto aos índices de área foliar, com destaque para o híbrido AGN30A91 que obteve altas produtividades de grãos, assim como elevados rendimentos de matéria seca ensilável.

A máxima produtividade de grãos de milho foi obtida com doses inferiores às sugeridas pelos boletins de recomendação, isso evidencia que, em

muitas situações, os produtores estão utilizando fertilizantes nitrogenados acima do necessário.

3.5 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada altera as características agronômicas e bromatológicas avaliadas nos diferentes cultivares.

A produtividade de matéria seca da silagem não foi influenciada pelas doses de nitrogênio, porém a produção de grãos foi alterada, sendo a máxima eficiência técnica para a produtividade de grãos ($13.059 \text{ kg ha}^{-1}$) obtida com a dose de $146 \text{ kg de N ha}^{-1}$.

CAPÍTULO III

4 ESTIMAÇÃO DA NECESSIDADE DE NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS E SILAGEM

4.1 INTRODUÇÃO

De modo geral, o crescimento e a produção de grãos e silagem da cultura do milho são definidos por condições climáticas como temperatura, radiação incidente e suas correspondentes eficiências de interceptação, conversão e partição de fotoassimilados aos drenos reprodutivos, assim como pelas práticas de manejo utilizadas, com destaque para a adubação, especialmente nitrogenada, pois logo após a disponibilidade hídrica o N é o fator que mais limita o rendimento de grãos e matéria seca da parte aérea.

Atualmente, as recomendações de nitrogênio para a cultura do milho têm sido realizadas com base em tabelas, as quais relacionam a classe de disponibilidade do nutriente no solo com a dose a ser aplicada, de acordo com as faixas de produtividades esperadas. No entanto, considerando que, nos últimos anos, mudanças significativas ocorreram nos sistemas produtivos, incluindo o melhoramento genético dos híbridos disponíveis no mercado e a capacidade de resposta destes ao uso de altas tecnologias e que conseqüentemente, o rendimento potencial de grãos e silagem da cultura é maior do que aquele utilizado na calibração das recomendações, sugere-se que estas possam estar desatualizadas, resultando na indicação de doses incoerentes do ponto de vista agrônomico e econômico.

Além disso, o estado do Paraná não possui um boletim oficial para recomendação de adubação e calagem do solo, sendo utilizados os boletins dos estados de São Paulo, do Rio Grande do Sul e Santa Catarina como base para a recomendação de corretivos e fertilizantes para as culturas. Dessa forma, considerando que as quantidades de nutrientes sugeridas pelas tabelas seguem médias que podem ser consideradas inapropriadas para determinadas situações a sub, ou superestimação, da dose de N a ser utilizada pode ocorrer frequentemente,

reduzindo a produtividade ou aumentando os custos, assim como os riscos de poluição ambiental.

Dessa forma, considerando o aumento expressivo nos tetos produtivos de grãos e silagem associado ao fato de que as respostas ao manejo do nitrogênio são muito variáveis, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são altamente influenciados pelo ambiente (ARGENTA et al., 2003), evidencia-se a necessidade de uma ferramenta mais abrangente para recomendação de fertilizantes nitrogenados, que contemple de forma integrada a influência dos diversos fatores ambientais envolvidos na dinâmica desse nutriente e na produção da cultura, com as necessidades de nitrogênio. Assim, sugere-se que as recomendações de adubação nitrogenada para a cultura do milho sejam mais coerentes do ponto de vista técnico e, principalmente mais propensas a ajustes com bases científicas, em relação às tabelas, mediante o desenvolvimento e utilização de sistemas para recomendação de adubação baseados em modelos matemáticos (OLIVEIRA, 2002; TOMÉ JÚNIOR, 2004). Da mesma forma, a previsão das produtividades da cultura sob diferentes ambientes e clima é de grande utilidade no planejamento de um sistema agrícola, assim como na otimização de práticas de manejo.

Por meio dos modelos de simulação é possível prever a produtividade da cultura do milho relacionando com a necessidade de adubação nitrogenada em função da absorção desse elemento e extração pela colheita. Além disso, a utilização de modelos matemáticos para investigar o manejo da fertilização nitrogenada, possibilita estudar as interações desta fertilização com outros fatores, permitindo gerar cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas e possibilitem a realização de simulações e adaptações à medida que novos conhecimentos são acumulados, além de nortear os futuros trabalhos de pesquisa na região, objetivando melhorar a produtividade da cultura.

Assim, o uso de modelos matemáticos para estimar o potencial de resposta do milho a adubação nitrogenada se constitui em uma das formas mais eficientes de prever as respostas da cultura às condições de solo e clima de uma determinada região. Dentre os trabalhos relacionados à simulação das

produtividades de grãos e silagem para a cultura do milho em função da adubação nitrogenada destaca-se o modelo proposto por Martin e Pavinato (2009), que estima as produtividades da cultura do milho para as condições de solo e clima da região sudoeste do Paraná.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de dois modelos matemáticos, comparando os resultados simulados com aqueles obtidos experimentalmente, na estimação da produtividade potencial e deplecionada da cultura do milho e necessidade de adubação nitrogenada.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Modelagem Matemática

A simulação das produtividades potencial e deplecionada, foi realizada considerando-se uma lavoura comercial de milho localizada no município de Dois Vizinhos (Paraná, Brasil), situada na altitude média de 520 m, latitude de 25°44" Sul e longitude de 53°04" Oeste. Posteriormente esses dados foram comparados com os dados experimentais (Capítulo II). O clima predominante é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), segundo a classificação de Köppen (Maack, 1968) e a região compõe fisiograficamente o Terceiro Planalto Paranaense. O solo pertence à Unidade de mapeamento Nitossolo Vermelho Distroférico úmbrico, textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado (Bhering et al., 2008). Os dados diários referentes às variáveis temperatura (média, mínima e máxima), precipitação, insolação, radiação solar e pressão atmosférica foram obtidos na estação meteorológica situada no Câmpus Dois Vizinhos da UTFPR, (SIMEPAR, 2011), para os meses de março de 2007 a julho de 2011.

O cenário proposto para a simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura refere-se a um genótipo de milho de ciclo precoce (860,05 °C dia para o florescimento).

A estimação da adubação nitrogenada foi realizada em duas condições de desenvolvimento da cultura (produtividade potencial e produtividade

deplecionada). Na condição de produtividade potencial, considerou-se não haver estresse de ordem hídrica, com valores de temperatura reais ocorridos em novembro de 2009 a outubro de 2010, utilizando-se a insolação máxima diária (igual ao fotoperíodo). Na condição de produtividade deplecionada, considerou-se a temperatura, precipitação e insolação ocorridas no local de estudo durante o período de estudo (outubro de 2009 a março de 2010), não existência de competição/interferência no desenvolvimento das plantas de milho por pragas, doenças e plantas daninhas. A partir desses dados realizou-se a redução da produtividade potencial por meio do balanço hídrico (conforme apresentado nos parágrafos seguintes).

4.2.1.1 Obtenção da radiação fotossinteticamente ativa (q) a partir da insolação

A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa foi obtida por intermédio dos valores de insolação diária ($h\ d^{-1}$), sendo a sua estimativa obtida por intermédio das equações abaixo. A declinação solar (δ , radianos) depende somente da posição relativa entre a Terra e o Sol, podendo ser calculada conforme a equação apresentada por Pereira et al. (2002).

$$\delta_j = 23,45 \left\{ \text{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) (J - 80) \right] \right\} \quad (1)$$

em que J é o número de ordem do dia do ano (dia Juliano).

O cálculo do ângulo horário do nascer do sol (H_j) é dado por:

$$H_j = a \cos(-\text{tg}(\Phi) \cdot \text{tg}(\delta_j)) \quad (2)$$

em que Φ é a latitude do local e δ_j é a declinação solar.

O fotoperíodo (N, $h\ d^{-1}$) refere-se ao intervalo entre o nascer e o pôr do sol em um determinado dia, também chamado de duração do dia, calculado pela seguinte equação:

$$N_j = \frac{2(H_j)}{15} \quad (3)$$

A irradiância solar extraterrestre diária que atinge uma superfície horizontal no topo da atmosfera (Q_0 , $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$), é função da latitude e da declinação solar.

$$Q_{o_j} = 37,6 \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(J \cdot \frac{360}{365} \right) \right] \cdot \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) H_j \cdot \text{sen} \Phi \cdot \text{sen} \delta_j + \cos \Phi \cdot \cos \delta_j \cdot \text{sen} H_j \right] \quad (4)$$

A estimativa da irradiância solar global diária (Q_{gj} , MJ.m⁻².d⁻¹) é função da Q_{oj} , da absorção e da difusão atmosférica e da insolação, e pode ser calculada da seguinte forma:

$$Q_{g_j} = Q_{o_j} \left\{ (0,29) \cos \Phi + \left[0,52 \left(\frac{n_j}{N_j} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

em que n_j é a insolação no dia juliano j .

A radiação fotossinteticamente ativa (q_j , cal cm⁻² min⁻¹) foi estimada por intermédio da equação apresentada por Assunção (1994).

$$q_j = \left(\frac{Q_{g_j}}{(N_j)(60)} \right) \left\{ 0,5 - \left[0,1 \left(\frac{n_j}{N_j} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

4.2.1.2 Estimação da assimilação de dióxido de carbono (Adc)

A assimilação de dióxido de carbono foi apresentada por Heemst (1986) em plantas C₄, que propõe seguinte modelo para assimilação de CO₂:

$$Adc_j = a \cdot e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{c} \left[\ln \left(\frac{q}{b} \right) \right]^2 + \frac{1}{f} \left[\ln \frac{Tm}{d} \right]^2 \right\}} \quad (7)$$

em que Adc_j se refere à assimilação de CO₂ (μL.cm⁻².h⁻¹), q à radiação solar absorvida (cal.cm⁻².min⁻¹, $0 < q \leq 0,4$), Tm à temperatura média diária (°C, $15 \leq T \leq 35$), e a , b , c , d , f aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão múltipla ($a = 262,9636617$ μL.cm⁻².h⁻¹; $b = 0,468547664$ cal.cm⁻².min⁻¹; $c = 1,230198161$; $d = 33,54420813$ °C; $f = 0,538660895$).

Considerando-se a massa bruta de carboidrato produzida como sendo o valor médio diário (C), estimado a partir do número de graus-dia, da emergência ao florescimento (GD_f , °C dia) e da duração da fase reprodutiva, conhecendo-se o fotoperíodo médio do ciclo (H) e o índice de área foliar diário (IAF , m² m⁻²), obtido a partir do IAF nas diferentes fases, pode-se estimar a produtividade de carboidrato total (MCH₂O, kg ha⁻¹ C⁻¹), por meio das seguintes equações:

$$IAF_j = [(\alpha_0)(Dr_j^3)] + [(\alpha_1)(Dr_j^2)] + [(\alpha_2)(Dr_j)] \quad (8)$$

$$FC_{IAF_j} = [(b_0)(P_o)] + b_1 \quad (9)$$

$$IAFC_j = (IAF_j)(FC_{IAF_j}) \quad (10)$$

em que α_0 , α_1 e α_2 se referem aos parâmetros determinados por intermédio de análise de regressão, sendo $\alpha_0 = -27,139 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$; $\alpha_1 = 25,999 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ e $\alpha_2 = 3,1745 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. O fator de correção do IAF (FC_{IAF_j}) em que b_0 é equivalente a 0,1176, b_1 é equivalente a 0,2915 e P_o é número de plantas por metro quadrado (cinco). O IAF, o fator de correção (FC_{IAF_j}) para a densidade de plantas (P_o , plantas. m^{-2}), e o IAF corrigido (IAF_{cj}), bem como os parâmetros empíricos foram propostos por Figueiredo Junior et al. (2005).

$$M_{CH_2O} = \left[\frac{(36,585)(P)(ACD_j)(IAF_j)(C)(N_j)}{(T + 273)} \right] \quad (11)$$

em que P se refere à pressão atmosférica local (valor utilizado igual a 953 mmHg) e T, à temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$);

O ciclo da cultura (C) foi obtido por meio do número de graus dias para o florescimento do genótipo (GD_f):

$$C = \frac{GD_f}{T - T_b} + D_{fr} \quad (12)$$

em que T_b se refere à temperatura basal (10°C) da cultura (Villa Nova et al., 1972), D_{fr} , à duração da fase reprodutiva (dias) que no caso de milho para grão foi de 65 dias e do milho para silagem foi de 45 dias e T equivale a temperatura média diária.

A transformação da massa bruta de carboidrato total final (MCH_2O) em massa de matéria seca dos diferentes órgãos (grãos, folhas, colmo e raízes) deve ser realizada segundo alguns estudos teóricos. Com base no conceito de Wit (1982) e a partir de dados experimentais apresentados por Doorenbos; Kassam (1994), calibrados para ampla faixa de condições climáticas, as correções necessárias para estimar a produtividade potencial da cultura de milho foram realizadas. A correção para respiração (CR) de manutenção e crescimento (mc) corresponde à matéria seca consumida nos referidos processos ao longo do desenvolvimento. Tal correção depende da temperatura média do ar (T, $^{\circ}\text{C}$), expressa por:

$$CR_{mc} = \gamma_0 + [(\gamma_1)(T)] + [(\gamma_2)(Tm)]^2 \quad (13)$$

em que γ_0 , γ_1 e γ_2 se referem aos parâmetros empíricos determinados em análise de regressão ($\gamma_0 = -0,545$; $\gamma_1 = 0,0786$; $\gamma_2 = -0,0013$), segundo Doorenbos; Kassam (1994) e utilizada por Figueredo Junior (2004). A partir daí foi realizada a correção para interceptação luminosa, baseando-se na Lei de Beer-Bouguer-Lambert (Ometto, 1981), sendo possível estimar a interceptação da radiação solar por uma comunidade de plantas, com a correção da radiação solar média absorvida, obtida em função do índice de área foliar médio da cultura durante o ciclo:

$$CR_s = 1 - e^{-kIAF_j} \quad (14)$$

$$k_j = d_0 + d_1 \sqrt{IAF_j} \quad (15)$$

em que k se refere ao coeficiente de extinção da radiação, e d_0 e d_1 aos parâmetros empíricos determinados em análise de regressão ($d_0 = 0,27697$; $d_1 = -0,06097$), segundo Doorenbos; Kassam (1994) e utilizada por Figueredo Junior (2004).

A partição de fitomassa destinado para a formação de raízes ($Aloc_raiz$) será obtida por:

$$Aloc_raiz = ar_0 + [(Dr_j)(ar_1)] + [(ar_2)(Dr_j^2)] \quad (16)$$

Em que $ar_0 = 0,378042696$; $ar_1 = -0,95480297$ e $ar_2 = 0,580822954$, segundo Figueredo Júnior (2004).

A partição de fitomassa aérea é dado por:

$$Aloc_part_aerea = 1 - Aloc_raiz \quad (17)$$

A produtividade potencial diária (PPj, kg ha⁻¹) foi dada por:

$$PP = \left[\frac{(M_{CH_2O})(CR_{mc})(CR_s)(Aloc_part_aerea)}{1 - u} \right] \quad (18)$$

em que u se refere à umidade do grão após a secagem, utilizando-se 13%. A produção diária bruta de carboidratos será deplecionada em função da temperatura e por intermédio da quantidade real de água disponível no solo às plantas. A produtividade deplecionada, considerou a precipitação ocorrida no período avaliado.

Na literatura (Allen et al., 1998; Pereira et al., 1997) são citados alguns métodos para o cálculo da evapotranspiração potencial (Etp, mm.d⁻¹), dentre eles, Thornthwaite (1948), o Tanque Classe A (FAO 56), Penman-Monteith (FAO 56), Hargreaves; Samani (1985). A utilização de determinada metodologia está relacionada à disponibilidade das informações meteorológicas. No presente caso, utilizou-se a metodologia proposta em Thornthwaite (1948) para calcular a evapotranspiração potencial, ajustado para dados diários sendo:

$$Etp_i = 16 \left(10 \frac{T_i}{I} \right)^a \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \left(\frac{ND_i}{30} \right) \quad (19)$$

em que, I e a são os parâmetros da equação (e serão estimados na sequência), n é a insolação (h.d⁻¹), N é o comprimento do dia (h.d⁻¹), ND é o número de dias do período em questão e T_m é a temperatura média do i-ésimo período.

$$I = \sum_{m=1}^{12} (0,2.T_m)^{1,514} \quad (20)$$

$$a = [(6,75 \times 10^{-7})I^3] - [(7,71 \times 10^{-5})I^2] + [(1,7912 \times 10^{-2})I] + 0,49239 \quad (21)$$

A evapotranspiração da cultura é apresentada por Doorenbos; Kassam (1994), sendo definida como:

$$ETc_i = [(Kc_i)(ETp_i)] \quad (22)$$

em que, Kc é o coeficiente de cultura e ETp é a evapotranspiração potencial.

Os valores do coeficiente de cultura são definidos por Doorenbos; Kassam (1994), onde variam em função do desenvolvimento relativo, na seguinte forma: Se Dr < 0,24 então Kc = 0,4; se o Dr >= 0,24 e Dr < 0,5 então Kc = 0,8; se o Dr >= 0,5 e o Dr < 0,61 então Kc = 1,15; se o Dr >= 0,61 e Dr < 0,74 então o Kc = 0,8; e se o Dr >= 0,74 então Kc = 0,5.

O balanço hídrico normal segue a sequência apresentada por Thornthwaite; Mather (1955). Deve-se, primeiramente, determinar os valores de negativos acumulados (L_i) e do armazenamento (Arm) (simultaneamente). Se a precipitação do dia menos a evapotranspiração potencial forem menor que zero, primeiramente deve ser calculado o negativo acumulado, ou seja, os valores acumulados de precipitação menos evapotranspiração e, posteriormente, calcula-se o valor de armazenamento:

$$Arm_i = \left\{ (CAD) \left(e^{\left| \frac{L_i}{CAD} \right|} \right) \right\} \quad (23)$$

em que, CAD é a capacidade de água disponível.

Porém, se (P-Etp) > 0, calcula-se primeiro o ARM [ARM = ARM anterior + (P-Etp)] e, posteriormente, calcula-se o L_i:

$$L_i = -CAD \left[\ln \left(\frac{Arm_i}{CAD} \right) \right] \quad (24)$$

Nessa condição, o L_i deve ser determinado caso haja um próximo período com (P-Etp) inferior a 0.

Em seguida, foi calculada a alteração no armazenamento, que será o armazenamento atual menos o armazenamento anterior. Com isso, pode-se calcular a evapotranspiração real (Etr):

$$\begin{aligned} Se(P - ETp) < 0 \quad ETr = P + |Alt| \\ Se(P - ETp) \geq 0 \quad ETr = ETp \end{aligned} \quad (25)$$

O coeficiente de sensibilidade da cultura à deficiência hídrica, para a cultura do milho, foi modificado dos valores apresentados por Doorenbos; Kassam (1994), e a partir daí pode-se utilizar as relações entre evapotranspiração real e máxima para determinar a produtividade deplecionada (PD, kg ha⁻¹) da cultura, em função da produtividade potencial (PP, kg ha⁻¹).

$$PD = PP \left| 1 - ky_i \left(1 - \left(\frac{Etr_i}{Etc_i} \right) \right) \right| \quad (26)$$

Quando o Dr ≤ 0,24 Ky valerá 0,2; quando o Dr estiver entre 0,24 e ≤ 0,4 o Ky valerá 0,4; quando o Dr estiver entre 0,4 e ≤ 0,8 o Ky será 0,6; quando o Dr estiver entre 0,48 e ≤ 0,61 o Ky será 0,8; quando o Dr estiver entre 0,61 e ≤ 0,9 o Ky será 0,9; e quando o Dr for superior a 0,9 o Ky igual a 1.

4.2.1.3 Estimação da quantidade de nitrogênio

A partir da produtividade potencial e deplecionada em cada um dos cenários simulados anteriormente, estimou-se a quantidade de nitrogênio necessário para as referidas produtividades. Os parâmetros básicos utilizados estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7- Parâmetros utilizados para estimação da quantidade necessária de nitrogênio para a produção de grãos e produção de silagem para o modelo 1.

Parâmetros	Grão	Silagem	Fonte
Índice de Colheita	0,50	0,90	Doorenbos; Kassam (1994), Lima (1995), Gadioli (1999), Barros (1998), Sá (2001).
Teor de Proteína	0,12	0,12	Oliveira et al., 2004
Teor de Nitrogênio na Proteína	0,17	0,17	Dourado Neto; Detomini (2005)
Teor de Nitrogênio em Outras Partes	0,01	0,01	Dourado Neto; Detomini (2005)
Nitrogênio do Solo	0,60	0,60	Figueiredo et al., 2008; Duete et al., 2008; Urquiaga,

2000), Fernandes et al. (2008)		
Figueiredo et al., 2008; Duete et al., 2008; Urquiaga, 2000), Fernandes et al. (2008)		
Eficiência da Utilização do Nitrogênio	0,42	0,57

Com base nos parâmetros citados na Tabela 7, estimou-se a quantidade de nitrogênio (QN) necessária para a produção de grãos e silagem, com modificações nos modelos propostos por Dourado Neto; Detomini (2005).

$$QN = \left\{ \frac{PE}{(IC)(EF)} [(TPG)(TNP)(IC)] + [(1-IC)(TNOP)](1-NS) \right\} \quad (27)$$

Em que, PE refere-se à produtividade esperada (grãos ou silagem), IC ao índice de colheita, TPG ao teor de proteína no grão, TNP ao teor de nitrogênio na proteína, TNOP ao teor de nitrogênio em outras partes, NS ao nitrogênio proveniente do solo e EF a eficiência de utilização de nitrogênio pelas plantas.

Após, foram realizadas estimativas para a semeadura sendo realizada em 26 de outubro de 2009. Os valores estimados por meio do modelo anteriormente descrito, baseado em dados da literatura, foram comparados com os valores observados a partir da alteração dos parâmetros do modelo anterior, os quais foram obtidos por meio do experimento descrito no capítulo II. As equações e os valores modificados são descritos a seguir.

Na equação 8 foram utilizados os valores de IAF obtidos na Figura 4 (a e b) para cada genótipo, sendo utilizado o número médio de plantas por metro quadrado de cada genótipo. O índice de colheita para grãos da Tabela 7 foi substituído, bem como o número de graus dias informado pelas empresas detentoras das sementes e o teor percentual de nitrogênio exportado, descritos na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Parâmetros utilizados, para estimação das produtividades e quantidade necessária de nitrogênio para produção de grãos e silagem, no Modelo2.

Genótipos	Índice de Área Foliar (IAF)	GD*	IC/Grão	IC/Silagem	%N Silagem	P _o
AG30A86	- 3,23165635 + 0,22556689X - 0,00135241X ²	841	0,53	0,90	0,0195	6,6
AGN20A55	- 3,1299375 + 0,22664613X - 0,00138383X ²	843	0,54	0,90	0,0207	6,7
CD308	- 3,0695 + 0,22149048X - 0,00140357X ²	800	0,62	0,90	0,0212	6,6
AG30A91	- 3,2195 + 0,22821295X - 0,00132664X ²	902	0,58	0,90	0,0234	6,7

*considerando a emergência das plantas no dia e a pressão atmosférica diária da equação (11). GD: graus dia; IC: índice de colheita; P_o : população em número de plantas por m^{-2} .

As estimativas obtidas pelo modelo realizado com base em dados da literatura são apresentadas como Modelo nº 1 e as estimativas geradas pelo modelo alternativo proposto, calibrado com dados observados no experimento, correspondem ao Modelo nº 2. Para avaliar o desempenho dos modelos utilizaram-se indicadores estatísticos como: o coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os valores observados e os simulados para cada um dos modelos, o índice de concordância de Willmott (ID) que avalia a aproximação e o afastamento dos valores simulados em relação aos observados, cujos valores variam de zero, para nenhuma concordância, a um, para a concordância perfeita (WILLMOTT, 1981) e o índice de desempenho de Camargo ($c=r*ID$), que se constitui no produto dos dois índices anteriores (CAMARGO; SENTELHAS, 1997) (Tabela 9). A porcentagem de desvio (PD) foi calculada considerando-se a diferença entre os valores medidos e observados, dividindo-se esse valor pelos valores observados e multiplicando-se por 100, para convertê-lo em porcentagem. Porcentagem de desvios negativos indica subestimativa enquanto que porcentagem de desvios positivos indica superestimativa. Além disso, o quadrado médio do erro (RMSE) foi calculado de acordo com Loague; Green (1991), o qual é definido como:

$$RMSE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (28)$$

em que: P_i e O_i referem-se as variáveis estudadas simuladas e observadas, respectivamente, N ao número de observações e M a média dos valores observados.

O RMSE indica a diferença relativa, em %, entre os valores simulados e observados. A simulação é considerada excelente quando RMSE é menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30% (JAMIESON et al., 1991). Com isso, permitiu-se identificar o processo de simulação que reproduz de forma mais adequada os dados observados.

Tabela 9 - Critérios de interpretação do desempenho dos modelos pelo índice c (adaptado de Camargo; Sentelhas, 1997).

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Moderado
0,51 a 0,60	Fraco
0,41 a 0,50	Muito fraco
≤ 0,40	Péssimo

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os modelos testados, verificou-se que a produção de grãos potencial (Tabela 10), pode alcançar até 25.107,30 kg ha⁻¹, assim como a produção deplecionada pode atingir 12.932,81 kg ha⁻¹. As médias de produtividade potencial alcançadas nessas estimativas são similares as observadas no Chile, onde a produtividade, em lavouras irrigadas, é de 18.000 a 20.000 kg ha⁻¹ (USDA, 2011). Bonnacarrère et al. (2007) estimando a produtividade potencial para a região do Rio Grande do Sul obteve valores de até 16.000 kg ha⁻¹ (Veranópolis - RS). No caso da produtividade deplecionada, comparando os resultados simulados nesse experimento como os obtidos na literatura, observa-se que a produtividade média de grãos, em ensaios realizados utilizando tecnologias adequadas, no estado do Paraná variou de 9.402 a 12.700 kg ha⁻¹ (SHIOGA et al., 2011). Dessa forma, os valores gerados por intermédio do modelo são adequados quando se compara com os valores apresentados na realidade.

Em relação à produção de silagem, verifica-se que o potencial de produção de fitomassa seca é de até 37.287,80 kg ha⁻¹ enquanto que a produção deplecionada atinge o máximo de 19.070,69 kg ha⁻¹.

A quantidade estimada de nitrogênio necessário para a cultura do milho, para obtenção da produtividade potencial é elevada, chegando a 660,95 kg ha⁻¹ para produção de grãos e 890,17 kg ha⁻¹ para a produção de silagem no AG30A91. No entanto, quando se considera a produtividade deplecionada a

necessidade de N, pode variar de 292,59 a 340,46 para a produção de grãos e 595,35 a 681,88 para produção de silagem. Em termos gerais, as recomendações de nitrogênio geradas pelos modelos para as produtividades potenciais e deplecionadas tanto de grãos quanto de silagem são elevadas em comparação com as recomendações de tabelas, no entanto vale ressaltar que grande parte desse N é fornecido pelo solo e não somente pela adubação via fertilizante.

Em relação ao ciclo da cultura, os modelos avaliados apresentaram dados condizentes com os que ocorrem a campo, variando de 126 a 133 dias para a produção de grãos e 106 a 113 dias para produção de silagem.

Tabela 10 – Produtividade real (PR), potencial (PP) e deplecionada (PD) de grãos (G) e silagem (S), necessidade de nitrogênio e ciclo da cultura (Dias), observadas no experimento e estimadas pelos modelos.

Genótipos	Experimento					
	Grãos	N	Ciclo	Silagem	N	Ciclo
AG30A86						
PR	10553,30	297,00	130	19790	386	108
AGN20A55						
PR	10893,52	313,53	132	20070	416	108
CD308						
PR	10211,86	282,66	130	16290	346	106
AG30A91						
PR	12864,09	361,53	134	22010	516	110
Estimativas – Modelo nº 1						
AG30A86						
PP	13247,53	383,55	129	22430,49	554,47	109
PD	6934,77	200,78		11526,46	403,00	
AGN20A55						
PP	13247,53	383,55	129	22430,49	554,47	109
PD	6934,77	200,78		11526,46	403,00	
CD308						
PP	12938,44	374,60	126	21828,51	539,59	106
PD	6866,67	198,81		11124,46	388,94	
AG30A91						
PP	13660,05	395,49	133	23265,55	575,11	113
PD	7009,11	202,93		11836,03	413,82	
Estimativas – Modelo nº 2						
AG30A86						
PP	20042,29	558,66	129	32301,48	788,22	109
PD	10496,79	292,59		16884,66	595,35	
AGN20A55						

PP	20547,63	565,91	129	32881,71	823,39	109
PD	10737,39	295,72		17129,08	633,40	
CD308						
PP	20147,44	509,04	126	28280,51	680,57	106
PD	10596,33	267,72		14624,09	552,36	
AG30A91						
PP	25107,30	660,95	133	37287,80	890,17	113
PD	12932,81	340,46		19070,69	681,88	

Como pode ser observado na Figura 6, o maior índice de área foliar obtido pelo genótipo AG30A91, refletiu em maiores estimativas de produtividade potencial e deplecionada de grãos e matéria seca de silagem (Tabelas 11 e 12). Da mesma forma, as menores produtividades estimadas pelo modelo nº 1, podem ser atribuídas aos menores índices de área foliar, utilizados nas simulações de assimilação de carboidratos. Essas observações podem ser confirmadas pelos dados obtidos a campo, onde os genótipos que apresentaram menor índice de área foliar durante o seu ciclo de desenvolvimento tiveram uma área fotossinteticamente ativa inferior, o que resultou em uma menor produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, menor produtividade de grãos e silagem, evidenciando a importância dessa variável na determinação da quantidade de carboidratos assimilados e produção final da cultura.

O índice de área foliar máximo observado neste trabalho para os híbridos avaliados foi atingido aos 90 dias após a germinação, com valores de 6,0, 6,02, 5,45 e 6,51 m² m⁻² para os genótipos AG30A86, AGN20A55, CD308 e AGN20A91, respectivamente. De maneira geral, os valores encontrados no experimento, durante praticamente todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, estiveram acima dos índices observados nas estimativas realizadas com base nos dados da literatura (Figura 6).

Em trabalho realizado por Alvim et al. (2010), objetivando quantificar a área foliar em milho e avaliar as conseqüências de diferentes níveis de desfolha nos componentes de produção, o valor máximo de IAF encontrado foi de 4,4 m² m⁻² e quando esse índice foi alterado para 2,7 m² m⁻² o rendimento de grãos foi aproximadamente 20% inferior.

Conforme mencionado por Favarin et al. (2002), a área foliar é um parâmetro indicativo de produtividade, já que o processo fotossintético depende da

interceptação de energia luminosa e sua conversão em energia química, assim sendo, a superfície foliar de uma planta é a base do rendimento potencial da cultura.

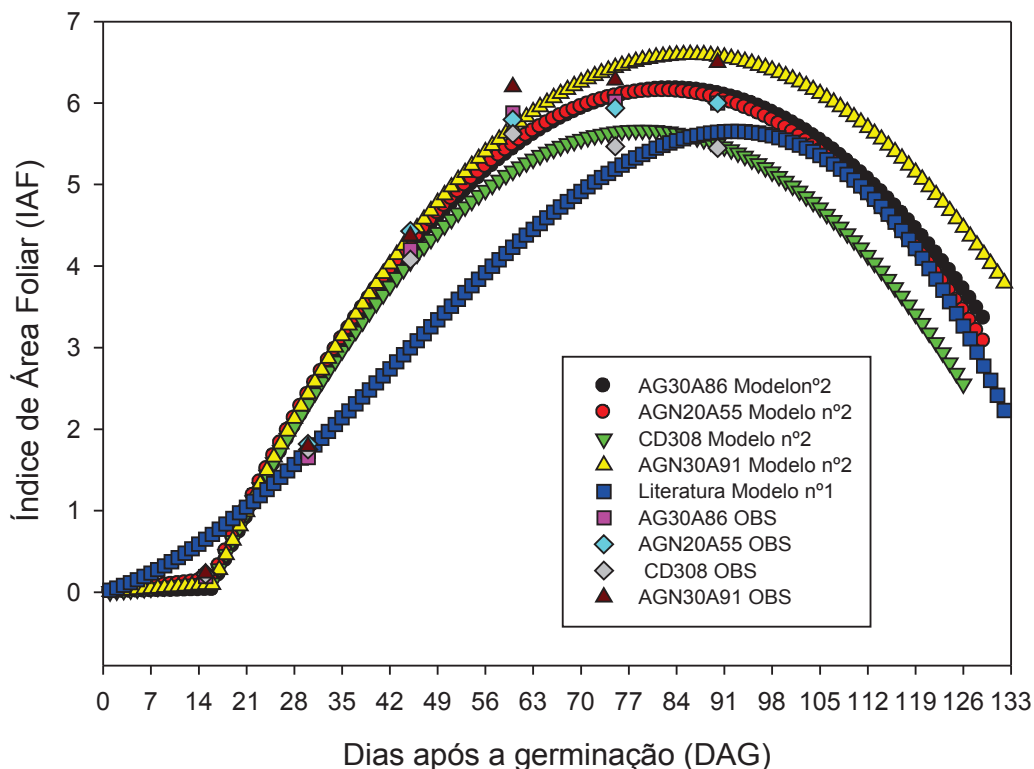


Figura 6 - Médias de variação do Índice de Área Foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) observadas e estimadas pelo modelo n°1 e modelo n°2 para os genótipos AG30A86, AGN20A55, CD308, AGN30A91.

Os resultados relacionados ao desempenho dos modelos na estimativa da necessidade de nitrogênio, ciclo e produtividade da cultura do milho estão apresentados nas Tabelas 11 e Tabela 12.

O elevado coeficiente de correlação (0,98) e índice de concordância (0,98) encontrado entre os valores simulados e observados, associado ao índice de desempenho de 0,96 e o baixo valor atribuído ao RMSE (1,90) demonstram a habilidade do modelo n° 2 em simular a produtividade de grãos da cultura. O mesmo não se pode dizer do modelo n° 1, onde o índice de concordância encontrado foi de 0,01 e os desvios percentuais obtidos, entre -32,75 e -45,51, evidenciam a tendência deste modelo em subestimar as produtividades da cultura.

Da mesma forma, os valores do índice de concordância, coeficiente de correlação, quadrado médio do erro (RMSE), e índice de desempenho (c),

Em relação às estimativas da produtividade de silagem, a correlação entre os parâmetros e as estatísticas dos dados simulados pelo modelo nº 2 é elevada. O quadrado médio do erro (13,66) caracteriza uma baixa diferença relativa entre os valores simulados e observados, sendo o índice de desempenho classificado como moderado.

Quanto à simulação da necessidade de nitrogênio na produção de silagem, pode-se dizer que os modelos propostos não foram suficientemente eficientes e precisos na estimativa das doses para esse nutriente, sendo obtidos baixos índices de desempenho e exatidão para ambos os modelos testados.

As estimativas da necessidade de nitrogênio, em geral, foram superiores as quantidades observadas desse nutriente nos tecidos da planta. Em média, os teores de N extraídos pela silagem de milho foram de aproximadamente 416 kg ha⁻¹, enquanto que as exigências da cultura estimadas pelo modelo nº 2 ficaram em torno de 615,75 kg ha⁻¹, considerando-se a obtenção de produtividades médias de 19.540 e 16.927,13 kg ha⁻¹, respectivamente. Dessa forma, as elevadas quantidades de N estimadas sugerem que os parâmetros utilizados na simulação das necessidades de N para produção de silagem, estão superestimando as reais necessidades da planta. Nesse sentido, uma provável subestimação da eficiência de utilização de nitrogênio e da capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo, poderia estar contribuindo para aumentar as estimativas e reduzir a eficiência dos modelos testados. Futuros trabalhos precisam esclarecer essas questões, no sentido de aperfeiçoar os parâmetros do sistema.

O ciclo da cultura, desde a emergência até a ponto de ensilagem, e os valores simulados para essa fase foram similares em magnitude. Um elevado índice de concordância (0,84) foi encontrado entre os valores simulados e observados, assim como o coeficiente de correlação obtido (0,99) é considerado alto e o índice de desempenho (0,83), classificado como muito bom, de acordo com a Tabela 9. Da mesma forma, o RMSE foi baixo (1,53), demonstrando a habilidade dos modelos em simular a fenologia da cultura (Tabela 12).

Tabela 12 - Médias de produtividade, necessidade de nitrogênio e ciclo da cultura para produção de silagem, usadas na avaliação do Modelo nº 1 e Modelo nº 2, e respectivos quadrado médio do erro (RMSE), índice de concordância de Willmott (ID), correlação de Pearson (r) e índice de desempenho de Camargo (C).

Genótipos	Médias													
	Produção de Silagem			PD		RMSE		Id		r		C		
	OBS	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	
AG30A86	19790	11526,46	16884,66	-41,76	-14,68									
AGN20A55	20070	11526,46	17129,08	-42,57	-14,65	42,16	13,66	0,02	0,64	0,99	0,99	0,03	0,64	
CD308	16290	11124,46	14624,09	-31,71	-10,23									
AG30A91	22010	11836,03	19070,69	-46,22	-13,35									
	Nitrogênio													
AG30A86	386,00	403,00	595,35	4,40	54,23									
AGN20A55	416,00	403,00	633,40	-3,12	52,25	13,56	48,25	0,40	0,23	0,93	0,97	0,36	0,22	
CD308	346,00	388,94	552,36	12,41	59,64									
AG30A91	516,00	413,82	681,88	-19,80	32,14									
	Ciclo													
AG30A86	108	109	109	0,93	0,93									
AGN20A55	108	109	109	0,93	0,93	1,53	1,53	0,84	0,84	0,99	0,99	0,83	0,83	
CD308	106	106	106	0,00	0,00									
AG30A91	110	113	113	2,73	2,73									

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que o modelo nº 2 pode ser utilizado na estimativa da produtividade de grãos e silagem, assim como na simulação da extração de nitrogênio pela produção de grãos, sendo ambos os modelos eficientes na simulação do ciclo da cultura.

O melhor desempenho do modelo nº 2 em relação ao modelo nº 1 pode ser atribuído em partes à determinação exata do número de graus dias para o florescimento e do índice de área foliar, pois quanto mais eficiente for o modelo em estimar os valores de índice de área foliar ao longo do tempo, mais realista será a simulação da assimilação de CO₂, melhorando o desempenho do modelo em estimar o acúmulo de matéria seca na planta e, conseqüentemente o rendimento de grãos da cultura.

4.4 CONCLUSÕES

O modelo alternativo, calibrado com dados experimentais, pode ser utilizado na simulação das produtividades de grãos e silagem da cultura do milho, assim como para estimar as exigências em nitrogênio para a produção de grãos, apresentando maior eficiência e precisão, em relação ao modelo usual da literatura. No entanto, necessita de ajustes para sua utilização na estimativa das necessidades de nitrogênio para a produção de silagem.

REFERÊNCIAS

ADDISCOTT, Tom. M. **Simulation modeling and soil behavior**. Geordema, v.60, p.15-40, 1993.

ALLEN, RICHARD G. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA FILHO, S. L.; FONSECA, D. M.; GARCIA, R.; OBEID, A. J.; OLIVEIRA, J. S. Características agronômicas de cultivares de milho (*Zea mays* L.) e qualidade dos componentes da silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 1, p. 7-13, 1999.

ALMEIDA, Alexsandro Claudio Santos; MINGOTI, Rafael; COELHO, Rubens Duarte; LOURENÇO, Leandro Fellet. Simulação do crescimento do capim Tanzânia irrigado com base na unidade fototérmica, na adubação nitrogenada e na disponibilidade hídrica do período. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 215-222, 2011.

ALVAREZ, CLÁUDIO GARCIA DURÁN; PINHO, RENZO GARCIA VON; BORGES, IRAN DIAS. Avaliação de características bromatológicas da forragem de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência Agrotécnica**, v. 30, n. 3, p. 409-414, 2006.

ALVIM, Karen Rodrigues de Toledo; BRITO, Afonso Maria Brandão; GOMES, Luiz Savelli; LOPES, Maria Teresa Gomes. Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. **Ciência Rural**, v.40, n.5, 2010.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. 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**, v.26, p.241-248, 2002.

AMARAL FILHO, JOSÉ PEDRO RIBEIRO DO; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, ROGÉRIO; BARBOSA, JOSÉ CARLOS. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.467-473, 2005.

ANDRADE, CAMILO L. T.; AMARAL, TALES A.; BORGES, JOÃO C. F.; HEINEMANN, ALEXANDRE B.; GARCIA, ALEX G.; TOJO-SOLER, CECÍLIA M.;

SILVA, DENISE F.; HICKMANN, CLÉRIO, SANTANA, CIRLEIDY B.; MOURA, BRUNO F.; CASTRO, LÍLIA A. **Modelagem do crescimento de culturas: Aplicadas a cultura do milho**. Documentos, ISSN 1518-4277, 91. EMBRAPA, Sete Lagoas (MG), 2009, 67p.

ANDRADE, EUNICE M. DE; AQUINO, DEODATO N. DE; CRISÓSTOMO, LINDBERGUE A.; RODRIGUES, JOSEILSON O.; LOPES, FERNANDO B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, v.39, p.88-95, 2009.

ARAÚJO, Luiz A. Navarro de; FERREIRA, Manoel E. ; CRUZ, Mara C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.771-777, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.E.F.; FOSTHOFER E. L.; S TRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEIGHMANN, L.L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.27, p.109-119, 2003.

ARGENTA, Gilber; SILVA, Paulo Regis Ferreira; BORTOLINI, Clayton Giani. Clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 715-722, 2001.

ASSIS, Janilson P.; DOURADO NETO, Durval; REICHARDT, Klaus; MANFRON, Paulo A.; MARTIN, Thomas N.; BONECARRÈRE, Reinaldo A. G. Dados climáticos simulados e produtividade potencial do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.731-737, 2006.

BALL, D.M.; HOVELAND, C. S.; LACEFIELD, G. D. **Southern forages**. 4. Ed. Georgia: Potash and Phosphate Institute, 2007. 322 p.

BARRIONI, Luiz G.; MARTHA JÚNIOR, Geraldo B.; RAMOS, Allan K.B.; VELOSO, Rui F.; RODRIGUES, D. C.; VILELA, Lourival. **Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM. Piracicaba: FEALQ, p. 105-154, 2003.

BARROS, A.H.C. **Análise de crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (Zea mays L.): Experimentos e modelos**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1998. 85p.

BASTOS, Edson A.; CARDOSO, Milton J. MELO, Francisco; RIBEIRO, Valdenir Q.; ANDRADE JÚNIOR, Aderson S. de. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista de Ciência Agronômica**, v.39, n.2, p. 275-280, 2008.

BERGONCI, João Ito; BERGAMASHI, Homero; SANTOS, Antonio Odair; FRANÇA, Solange e RADIN, Bernadete. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.7, p. 949-956, 2001.

BHERING, S. B. et al. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR, 2008. 74p.

BONNECARRÈRE, Reinaldo Antonio Garcia; DOURADO NETO, Durval; MARTIN, Thomas Newton; PEREIRA, Antonio Roberto; MANFRON, Paulo Augusto. Estimativa das produtividades potencial e deplecionada da cultura de milho no Estado do rio grande do sul em função das condições climáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, p. 280-288, 2007.

BOOTE, Kenneth J.; JONES, James W.; PICKERING, Nigel B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v.88, p.704-716, 1996.

BORGES, A.L.C.C.; GONÇALVES, L.C.; RODRIQUEZ, N.M. et al. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo de porte alto, com diferentes teores de tanino e umidade no colmo. **Pesquisa Brasileira Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.49, n.4, p.441-452, 1997.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.361-366, 2002.

BOWEN, W. T.; JONES, J. W.; CARSKY, R. J.; QUINTANA, J. O. Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 1, p. 153-159, 1993.

BUSATO, Camilo; FONTES, Paulo C. R.; BRAUN, Heder; CECON, Paulo R.; SILVA, Marcelo C. C.; COELHO, Fabrício S. Valor de índices agronômicos da planta associada à dose adequada de nitrogênio para a produção de tubérculos de cultivares de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 4098-4103, n.2, 2008.

CAIXETA FILHO, José V. **Pesquisa operacional: Técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. 171p.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.

CANTARELA, Heitor; DUARTE, Aildson. **Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. Tecnologia de produção de milho**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 139-182, 2004.

CANTARELLA, Heitor. **Calagem e adubação do milho**. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, p.147-185, 1993.

CECATO, U. et al. Frequência de corte, níveis e formas de aplicação de nitrogênio sobre a composição bromatológica de capim Aruana (*Panicum maximum* Jacq cv. Aruana). **Revista Unimar**, v. 16, p. 277-291, 1993.

COELHO, Antonio M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. *Informações Agronômicas*, v.71, p. 1-9, 1995.

COELHO, Antonio M. **Nutrição e adubação do milho. Embrapa milho e sorgo. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**. (CIRCULAR TÉCNICA, 78), 2006. 10p.

COELHO, Antônio M.; FRANÇA, Gonçalo E. de; BAHIA FILHO, A. F. C. **Nutrição e adubação do milho forrageiro**. In: EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção*. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, (Circular Técnica, 14), p.29-73, 1991.

COELHO, A.M.; CRUZ, J.C., PEREIRA FILHO, I. A. **Rendimento de Milho no Brasil: Chegamos ao máximo?** In. *Encarte Técnico Potafos, Informações Agronômicas*, 2003. 12p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Estimativa de produção de grãos.** MAPA/CONAB, Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_41_56_boletim_graos_4o_lev_safra_2010_2011.pdf. Acesso em: 09 out. 2011.

COSTA, C. **Estudo da variação na estrutura da vegetação de dois cultivares de *Panicum maximum* Jacq (Colonião e Tobiata), submetidos a diferentes tipos de manejo.** Doutorado em Ciências, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1990.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Trad. de GHEYI, H. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D. TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation. I. Uses of mathematical models in agriculture science. **Scientia Agricola**, v.55, p.46-50, 1998.

DOURADO NETO, D.; SPAROVEK, G.; FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.359-367, 2004.

DOURADO NETO, Durval. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho.** Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1999. 229p.

DOURADO NETO, Durval; NASS, Luciano L.; MANFRON, Paulo A.; MEDEIROS, Sandro L. P.; PILAU, Felipe G.; OHSE, Silvana; BONNECARRÈRE, Reinaldo A.G. Modelos matemáticos-fisiológicos para estimar matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.4, p.409-418, 2005.

DOURADO NETO, Durval; PALHARES, Marcos; VIEIRA, Pedro A.; MANFRON, Paulo A.; MEDEIROS, Sandro L. P.; ROMANO, Marcelo R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.63-77, 2003.

DOURADO NETO, D.; DETOMINI, E. R. Modelo de adubação nitrogenada aplicável a rebrota de pastagens submetidas a sistemas de desfolha intermitente. **Pasturas Tropicales**, v. 27, n. 2, p. 18-25, 2005.

DUETE, Robson R. C.; MURAOKA, Takashi; SILVA, Edson C.; TRIVELIN, Paulo C. O. ; AMBROSANO, Edmilson José. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.161-171, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>. Acessado em: 10/09/2010.

FANCELLI, Antonio Luiz. **Nutrição e adubação do milho**. Piracicaba: USP, 2000. 43p.

FANCELLI, Antonio Luiz; DOURADO NETO, Durval. **Ecofisiologia e fenologia**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FAVARIN, José Laércio; DOURADO NETO, Durval; GARCIA, Axel; VILLA NOVA, Nilson Augusto; FAVARIN, Maria da Graça Guilherme Vieira Favarin. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

FERNANDES, Flávia C. S; LIBARDI, Paulo L.; TRIVELIN, Paulo C.O. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e utilização do N residual pela sucessão aveia preta-milho. **Ciência Rural**, v.38, n.4, p.1138-1141, 2008.

FERNANDES, FLÁVIA C. S.; BUZETI, SALATIÉR. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea Mayz L.*). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n.7, p. 1-7, 2005.

FERRARI JR., E.; POSSENTI, R.A.; LIMA, M.L. et al. **Características, composição química e qualidade de silagens de oito cultivares de milho**. Boletim de Indústria Animal, v.62, n.1, p.19-27, 2005.

FIGUEIREDO, Cícero C.; RESCK, Dimas V. S.; URQUIAGA, Segundo; GOMES, Antônio C. **Eficiência de utilização de nitrogênio no milho em solo sob sistemas**

de manejo no cerrado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS. p.1-6, 2008.

FIGUEIREDO JÚNIOR, Luis G.M.; DOURADO NETO, Durval ; OLIVEIRA, Ricardo F.; MANFRON, Paulo A.; MARTIN, Thomas N. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2005.

FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Modelo para estimativa de produtividade da cultura de milho no estado de São Paulo.** Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004, 69p.

FLARESSO, JEFFERSON ARAUJO; GROSS, CELOMAR DAISON; ALMEIDA, EDISON XAVIER DE. Cultivares de Milho (*Zea mays* L.) e Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para Ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n.6, p. 1608-1615, 2000.

FONTANELI, Renato S.; FONTANELI, Roberto S.; SANTOS, Henrique P. dos; NASCIMENTO JUNIOR, Alfredo do; MINELLA, Euclides; CAIERÃO, Eduardo. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 111, p. 2116-2120, 2009.

FREITAS, Alfredo R.; LOIBEL, Selene M. C.; ANDRADE, Marinho G.; VAL, João B. R. Modelagem do crescimento populacional do rebanho bovino brasileiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2225-2232, 2005.

GADIOLI, João Luis. **Estimativa de rendimento de grãos e caracterização fitotécnica da cultura de milho (*Zea mays* L).** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1999. 86p.

HASEGAWA, Toshihiro; HORIE, Takeshi. Leaf nitrogen, plant age and crop dry matter production in rice. **Field Crops Research**, v.47, p.107-116, 1996.

HEEMST, H.D.J. **Physiological principles.** In: VAN KEULEN, H.; WOLF, J. Modeling of agricultural production: Weather, soils and crops. Wageningen: Pudoc, p. 13-26, 1986.

JAREMTCHUK, Ana R. COSTA, Ciniro; MEIRELLES, Paulo R. de L.; GONÇALVES, Heraldo C.; OSTRENSKY, André; KOSLOWSKI, Luiz A.; MADEIRA, Humberto M. F. Produção, composição bromatológica e extração de potássio pela planta de milho para silagem colhida em duas alturas de corte. **Sciencia Agrônômica**, v. 28, n. 3, p. 351-357, 2006.

LAUER, J.G.; ROTH, G.W.; BERTRAM, M.G. Impact of defoliation on corn forage yield. **Agronomy Journal**, v.96, p.1459-1463, 2004.

KEPLIN, L.A.S. **Recomendação de sorgo e milho (silagem) safra 1992/93**. ENCARTE TÉCNICO DA REVISTA BATAVO. CCLPL, Castro, PR. Ano I, n.8, p.16-19, 1992.

KERBAUY, Gilberto B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro, RJ, Ed. Guanabara Koogan S.A, p.56-113, 2004.

LAM, H.M., COSCHIGANO, K.T., OLIVEIRA, I.C.; OLIVEIRA, R.M. CORUZZI, G. M. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.47, n.1, p.569-593, 1996.

LARCHER, Walter. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, Rima, p. 203-207, 2000.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo Ceres-maize em condições tropicais do Brasil**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995. 119 p.

LOAGUE, Keith; GREEN, Richard E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 7, p. 51-73, 1991.

MANFRON, Paulo A.; DOURADO NETO, Durval; PEREIRA, Antônio R.; BONNECARRÈRE, Reinaldo A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F.G. Modelo do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.333-342, 2003.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco do Desenvolvimento do Paraná, 1968. 350p.

MARTIN, Thomas N.; PAVINATO, Paulo S. **Modelo determinístico para adubação nitrogenada na cultura do milho para grãos e silagem**. In: Sistemas de Produção Agropecuária, p. 45-70, 2009.

MARTIN, Thomas Newton; VENTURINI, Tiago; API, Ivandro; PAGNONCELLI, Andrei; Vieira Júnior, PEDRO ABEL. Perfil do manejo da cultura de milho no sudoeste do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, n.1, p. 1-8, jan/fev, 2011.

MARTIN, Thomas Newton; DOURADO NETO, Durval; VIEIRA JÚNIOR, Pedro Abel; PEREIRA, Antonio Roberto ; MANFRON, Paulo Augusto ; Christoffoleti, Pedro Jacob. Modified crop model estimation of depleted and potential soybean. **Acta Scientiarum Agronomy** (Online), 2012.

MELO, Wagner M. C.; PINHO, Renzo G. V.; PINHO, Édila V.R.V.; CARVALHO, Maria L.M.; FONSECA, Aeilard H. Parcelamento da adubação nitrogenada sobre o desempenho de cultivares de milho para produção de silagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.608-616, 1999.

MINOLTA. **Chlorophyll meter SPAD-502**. Instruction manual. Minolta Osaka, Japan. 1989. 22 pp.

MONDO, Vitor H. V.; CARVALHO, Saul J. P.; LABONIA, Victor D. S.; NETO, Durval V.; CICERO, Silvio M. Comparação de métodos para estimativa de área foliar em plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.3, p. 233-246, 2009.

NEUMANN, Mikael; OST, Paulo Roberto; PELLEGRINI, Luiz Giovani; DEFAVERI, Francisco José. Comportamento de híbridos de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) para silagem na região centro-sul do Paraná. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 4 n. 2, 2008.

NTANOS, D.A.; KOUTROUBAS, S.D. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v.74, p.93-101, 2002.

OLIVEIRA, Fábio H. T.; NOVAES, Roberto F.; ALVAREZ, Víctor H.; CANTARUTTI, Reinaldo B.; Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.29, p.131-143, 2005.

OLIVEIRA, Jaison P.; CHAVES, Lázaro J.; DUARTE, João B.; BRASIL, Edward M.; RIBEIRO, Keyla O. Qualidade física do grão em populações de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.233-241, 2004.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PAUSTIAN, Keith; PARTON, William J.; PERSSON, Jan. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, v.56. p.476-488,1992.

PAVINATO, Paulo S.; CERETTA, Carlos A.; GIROTTO, Eduardo; MOREIRA, Isabel C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v.38, p.358-364, 2008.

PAZIANI, Solidete Fátima; DUARTE, Aidson Perreira ; NUSSIO, Luiz Gustavo; GALLO, Paulo Boller; BITTAR, Carla Maris Machado; ZOPOLLATTO, Maity; RECO, Paulo César. Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.

PEIXOTO, A.M; MOURA, J. C; FARIA, V. P. **Bovinocultura de Corte**. Piracicaba, São Paulo: FEALQ, 3.ed., p.304-376, 1999.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C.; **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Piracicaba, Agropecuária, 2002. 477p.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para a análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Brasília, EMBRAPA, 1997. 44p.

PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H.; TOTH, J.D. & MACNEAL, K.E.. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate N sufficiency. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 403-408, 1995.

PINTO, Andréa P.; LANÇANOVA, José A. C.; LUGÃO, Simony M. B.; ROQUE, Ana P.; ABRAHÃO, José J. S.; OLIVEIRA, Jackson S.; LEME, Maria C. J.; MIZUBUTI, Ivone Y. 2010. Avaliação de doze cultivares de milho (*Zea mays* L.) para silagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n.4, p.1071-1078.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAMBO, Lisandro, SILVA, Paulo R. F.; BAYER, Cimélio, ARGENTA, Gilber. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1279-1287, 2004.

RAMBO, Lisandro; SILVA, Paulo R. F.; SANGOI, Argenta L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1637-1445, 2004.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a Corn Plant Develops**. Special Report N. 48, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1993.

ROSA, Joilmaro Rodrigo Pereira; SILVA, José Henrique Souza; RESTLE, João; PASCOAL, Leonir Luiz; BRONDANI, Ivan Luiz; ALVES FILHO, Dari Celestino; FREITAS, Aline Kellermann. Avaliação do comportamento agrônômico da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.302-312, 2004.

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

SÁ, M. **Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e primitivas de milho**. Lavras. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, 2001. 54p.

SANGOI, L. ; ARGENTA, Gilber ; SILVA, Paulo Régis Ferreira da ; MINETTTO, José T. ; BISOTTO, Valdir . Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise econômica. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1021-1029, 2003.

SANTOS, Flávia C.; NEVES, Julio C. L.; NOVAIS, Roberto F.; ALVAREZ, Víctor H.; SEDYAMA, Carlos S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1661-1674, 2008.

SCHRÖDER, J.J.; NEETSON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.

SHIOGA, Pedro Sentaro; GERAGE, Antonio Carlos; ARAÚJO, Pedro Mário de; SERA, Gustavo Hiroshi; BIANCO, Rodolfo. **Avaliação estadual de cultivares de milho safra 2010/2011. Instituto agrônomo do Paraná**. Londrina, 2011. BOLETIM TÉCNICO Nº 73. (IAPAR. Boletim técnico, 73).

SILVA, Alexandre P da; ALVAREZ, Víctor H.; SOUZA, Adailson P.; NEVES, Júlio C. L.; NOVAES, Roberto F.; DANTAS, José P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi-fertcalc-abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, 1269-1280, 2009.

SILVA, Edson C.; BUZETTI, Salatier; GUIMARÃES, Giovani L.; LAZARINI, Edson; SÁ, Marco E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.353-362, 2005.

SILVA, Edson C.; MURAOKA, Takashi; BUZETTI, Salatiér; TRIVELIN, Paulo C. O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.477-486, 2006.

SILVA, Dirceu J.; QUEIROZ, Augusto C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

SILVA, Edson C. da; BUZETTI, Salatier; GUIMARÃES, Giovani L.; LAZARINI, Edson; SÁ, Marco E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.353-362, 2005.

SIMEPAR, **Sistema de Meteorologia do Estado do Paraná**, acesso em 10 agosto de 2010, disponível em <http://www.simepar.br>.

SOLLER, Cecília T.; FOLEGATTI, Marcos V; FARIA, Rogério T. Uso do modelo Ceres maize para identificação de características genéticas desejáveis e de práticas adequadas de manejo em milho safrinha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.339-346, 2001.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes**. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.283-315, 2004.

SOUZA, Luiz C.F.; GONÇALVES, Manoel C.; ALVES SOBRINHO, Teodorico; FEDATTO, Euclides; ZANON, Graciela D.; HASEGAWA, Eliza K. B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade do milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.55-62, 2003.

STORCK, Lindolfo; BISOGNIN, Dílson A.; CARGNELUTTI FILHO, Alberto. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.881-886, 2005.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre, Artmed, 2004. 241p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J.; **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Boletim técnico N° 5, 2ª edição revisada e ampliada. Departamento de Solos, UFRGS, 1995, 174 p.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics** – An Ecosystem Simulation Model: CAB Wallingford International, 1998. 241p.

THORNTON, P. K.; MACROBERT, J. F. The value of information concerning near-optimal nitrogen fertilizer scheduling. **Agricultural Systems, Barking**, v. 45, n. 3, p. 315-330, 1994.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics** – An Ecosystem Simulation Model: CAB Wallingford International, 1998. 241p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, n.38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, R.J. **The water Balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, v.8, 1955. 104 p. (Publication in Climatology).

UENO, Robson Kyoshi; NEUMANN, Mikael; MARAFON, Fabiano; BASI, Simone; ROSÁRIO, Jerônimo Gadens. Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas à produção de milho para forragem. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.1, p.182-203, 2011.

URQUIAGA, S. **Eficiencia de fertilización nitrogenada em los principales cultivos anuales**. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América latina y el Caribe. Porto Alegre; Genesis. Rio de Janeiro, EMBRAPA Agrobiologia, p.31-49, 2000.

TOMAZELA, André Luis. **Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho**. Dissertação de mestrado, 57 p. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TOMÉ JUNIOR, Juarez Barbosa. **Uma nova abordagem nas recomendações de adubação**. Doutorado em Solos e nutrição de plantas, Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, 2004. 209 p.

United States Department of Agriculture (USDA). Disponível em: www.usdabrazil.org.br. Acessado em: 13/10/2011.

VAN SOEST, P. J. WINE, R. H. **Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents**. J. A . O. A. C. 1967. 50p.

VAN SOEST, P. J. WINE, R. H. **Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate**. J. A . O. A. C. 1968. 780p.

VAN SOEST, P J., ROBERTSON, J.D., LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

VIEIRA, Marcelo de A.; CAMARGO, Mariana K.; DAROS, Edelclaiton; ZAGONEL, Jeferson; KOEHLER, Henrique S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v.32, n.1, p.81-86, 2010.

VILLA NOVA, N.A.; SANTIAGO, A.V.; RESENDE, F.C. **Energia solar: aspectos físicos e de captura pela biomassa**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 20p.

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas: máximas e mínimas. **Caderno de Ciências da Terra**, v. 30, 8 p, 1972.

VITTI, G.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS JÚNIOR, M.C. **Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho**. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: Esalq, 2003. p.174-197.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.

WIT, C.T. de. Simulation of living systems. In.: PENNING DE VRIES, F.W.T.; LAAR, H.H. van (Ed.). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, p. 3-8, 1982.

ZOPPOLLATTO, Maity. **Produtividade, composição morfológica e valor nutritivo de cultivares de milho (Zea Mays L.) para produção de silagem sob os efeitos da maturidade**. 2007. 228p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise de variância bifatorial (genótipos de milho x doses de nitrogênio), com as respectivas fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e probabilidade $\alpha = P(F \geq F_c)$, para as variáveis estande de plantas ($\text{ha}^{-1} \times 1000$), matéria verde da parte aérea (t, ha^{-1}), matéria seca de folha (g, planta), matéria seca de colmo (g, planta), matéria seca de espiga (g, planta), teor de matéria seca de folha (%), teor de matéria seca de espiga (%), teor de matéria seca de colmo (%), teor de matéria verde da parte aérea (%), produção de matéria seca (t, ha^{-1}), partição de matéria seca do colmo (%) e partição de matéria seca de folhas (%).

		Estande de plantas		Produção de matéria verde		Matéria seca de folha		Matéria seca de colmo	
FV	GL	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	26,37500	ns	36,41505	ns	595,27083	**	586,71875	ns
Doses N (a)	7	17,91071	ns	278,09301	*	88,26786	ns	1093,45982	ns
Erro(a)	21	15,20833		103,46708		42,77083		830,54018	
Genótipos (d)	3	7,45833	ns	2419,55264	**	627,89583	**	13187,2604	**
a x d	21	17,05357	ns	103,03242	ns	89,44345	ns	1313,91518	ns
Erro (d)	72	19,21528		99,31693		77,86111		1343,84722	
Média		46,96875				47,03125		129,70	
CV (a)		8,30				13,91		22,22	
CV (d)		9,33				18,76		28,26	
		Matéria seca de espiga		Teor de matéria seca de folha		Teor de matéria seca de espiga		Teor de matéria seca de colmo	
FV	GL	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	4523,8125	ns	0,01220	**	0,01352	*	0,00301	*
Doses N (a)	7	2469,4642	ns	0,00044	ns	0,00681	ns	0,00385	ns
Erro(a)	21	1944,3958		0,00079		0,00366		0,00080	
Genótipos (d)	3	1484,7291	ns	0,00211	*	0,02499	*	0,01964	**
a x d	21	1392,3839	ns	0,00094	ns	0,00557	ns	0,00117	ns
Erro (d)	72	1357,3506		0,00069		0,00664		0,00179	
Média		149,93		0,19		0,4966		0,2018	
CV (a)		30,22		14,43		12,18		13,98	
CV (d)		25,25		13,53		16,41		20,97	
		Teor de matéria seca da parte aérea		Produção de matéria seca		Partição de matéria seca do colmo		Partição de matéria seca de folhas	
FV	GL	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	0,00793	**	20,90231	ns	0,00239	ns	0,00111	ns
Doses N (a)	7	0,00280	*	29,59764	ns	0,00421	ns	0,00218	ns
Erro(a)	21	0,00046		11,60053		0,00209		0,00077	
Genótipos (d)	3	0,00733	**	141,96972	**	0,04797	**	0,00137	ns
a x d	21	0,00074	ns	11,54884	ns	0,00367	ns	0,00099	ns
Erro (d)	72	0,00099		16,89878		0,00376		0,00086	
Média		0,27372		19,6808		0,3981		0,14867	
CV (a)		7,83		17,31		11,49		18,64	
CV (d)		11,52		20,89		15,40		19,72	

APÊNDICE B - Análise de variância bifatorial (genótipos de milho x doses de nitrogênio), com as respectivas fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e probabilidade $\alpha = P(F \geq F_c)$, para as variáveis partição de matéria seca de folhas senescentes (%), partição de matéria seca de espigas (%), número de espigas ($\text{ha}^{-1} \times 1000$), diâmetro de espigas (cm), comprimento de espigas (cm), número de fileiras, número de grãos por fileira, massa de espiga (g), massa de grãos (kg ha^{-1}), massa de cem grãos (g), prolificidade, teor de nitrogênio (kg ha^{-1}), teor de potássio (kg ha^{-1}), teor de fósforo (kg ha^{-1}) e teor de clorofila.

		Partição de matéria seca de folhas senescentes		Partição de matéria seca de espigas		Número de espigas		Diâmetro de espigas		Comprimento de espigas	
FV	GL	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	0,00002	ns	0,00226	ns	21,66241	ns	6,31083	ns	4,97695	*
Doses N (a)	7	0,00002	ns	0,00789	ns	72,58566	ns	1,27500	ns	1,66802	ns
Erro(a)	21	0,00002		0,00345		26,81304		2,74655		1,05767	
Genótipos (d)	3	0,00003	ns	0,06170	**	233,73721	*	28,92917	**	56,04091	**
a x d	21	0,00002	ns	0,00458	ns	48,80042	ns	2,12774	ns	1,45258	ns
Erro (d)	72	0,00003		0,00427		64,66127		1,60764		0,95008	
Média		0,00205		0,45118		65,78125		50,51875		17,841	
CV (a)		241,87		13,02		7,87		3,28		5,78	
CV (d)		249,76		14,49		12,22		2,51		5,46	
		Número de fileiras		Número de grãos por fileira		Massa de espigas		Massa de Grãos		Massa de cem Grãos	
FV	GL	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	8,87875	ns	9,69542	ns	0,00316	*	1797489,33628	ns	2,35606	ns
Doses N (a)	7	2,05411	ns	8,10268	ns	0,00064	ns	72396483,2981	**	11,01286	
Erro (a)	21	3,53827		6,22970		0,00088		2287400,35171		3,92149	
Genótipos (d)	3	84,80208	**	89,67875	*	0,05305	**	45211158,9067	**	35,52589	**
a x d	21	3,75113	ns	10,27018	ns	0,00059	ns	2629207,22895	ns	5,43801	ns
Erro (b)	72	4,16250		8,30792				1691692,75457		3,76865	
Média		17,04688		35,10938		0,27399		11130,69552		36,33756	
CV (a)		11,03		7,11		10,84		13,59		5,45	
CV (d)		11,97		8,21		8,87		11,69		5,34	
		Prolificidade		Teor de nitrogênio		Teor de potássio		Teor de fósforo		Teor de clorofila	
FV	GL	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	0,02562	ns	39050,767	ns	2263,34707	ns	212,01451	ns	12,30914	ns
Doses N (a)	7	0,01093	ns	36918,244	ns	21242,60899	ns	440,21917	ns	26,95023	*
Erro (a)	21	0,01322		52977,748		11967,49276		252,04385		6,63961	
Genótipos (d)	3	0,04101	ns	168176,15	**	1434,00086	ns	330,32083	ns	7,86879	ns
a x d	21	0,01319	ns	39487,646	ns	6138,18952	ns	127,65831	ns	5,64987	ns
Erro (d)	72	0,02573		34911,304		7638,70021		205,85869		6,41346	
Média		0,98807		416,16273		245,29854		45,16322		56,27910	
CV (a)		11,64		55,31		44,60		35,15		4,58	
CV (d)		16,23		44,90		35,63		31,77		4,50	

APÊNDICE C - Análise de variância bifatorial (genótipos de milho x doses de nitrogênio), com as respectivas fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM), estatística F calculada (F) e probabilidade $\alpha = P(F \geq F_c)$, para as variáveis, índice de área foliar (IAF, m²), área foliar, da planta (AFP, m²), estatura de plantas (EP, m), diâmetro de colmo (DC, cm). UTFPR, 2011.

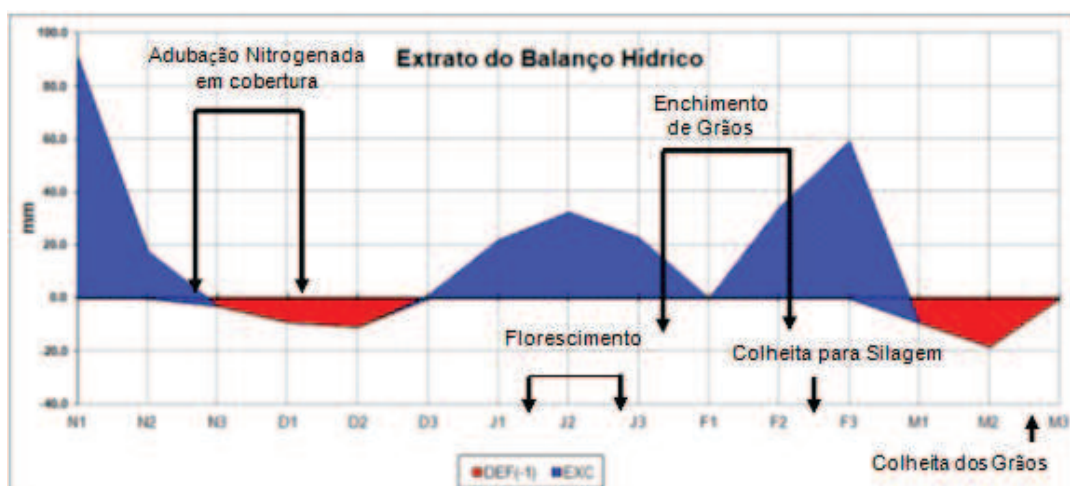
FV	GL	Índice de área foliar		Área foliar planta		Diâmetro do colmo	
		QM	P	QM	P	QM	P
Bloco	3	2,01415	ns	4360238,37435	ns	1,58759	ns
Genótipos (a)	3	6,72319	**	14364445,8382	**	0,27851	ns
Doses N (d)	7	0,65856	ns	1360372,11702	ns	0,13405	ns
Períodos (e)	5	1090,64320	**	1602973024,61	**	66,50058	**
a x d	21	0,31868	ns	642753,88160	ns	0,1384	ns
e x a	15	1,11257	**	2218375,20693	**	0,33298	**
e x d	35	0,34476	ns	821718,46579	ns	0,17769	ns
a x d x e	105	0,35529	ns	749985,95880	ns	0,12420	ns
Erro (a)	432	0,30278		641415,09988		0,11568	
Erro (d)	126	0,37414		800463,26391		0,17470	
Erro (e)	15	1,95951		4110327,94534		0,25874	
Média		3,68		5730,35		2,13	
CV(a)		14,93		13,98		15,93	
CV(d)		16,60		15,61		19,57	
CV (e)		37,99		35,38		23,82	
Estatura de planta							
Bloco	3	2188,13760	ns				
Genótipos (a)	3	3436,2775	**				
Doses N (d)	7	978,89780	ns				
Períodos (e)	5	1450689,14821	**				
a x d	21	189,75692	ns				
e x a	15	2432,85848	**				
e x d	35	431,59808	ns				
a x d x e	105	253,78782	ns				
Erro (a)	432	224,45435					
Erro (d)	126	545,90206					
Erro (e)	15	913,89919					
Média		156,13					
CV (a)		9,60					
CV(d)		14,96					
CV(e)		19,36					

ANEXOS

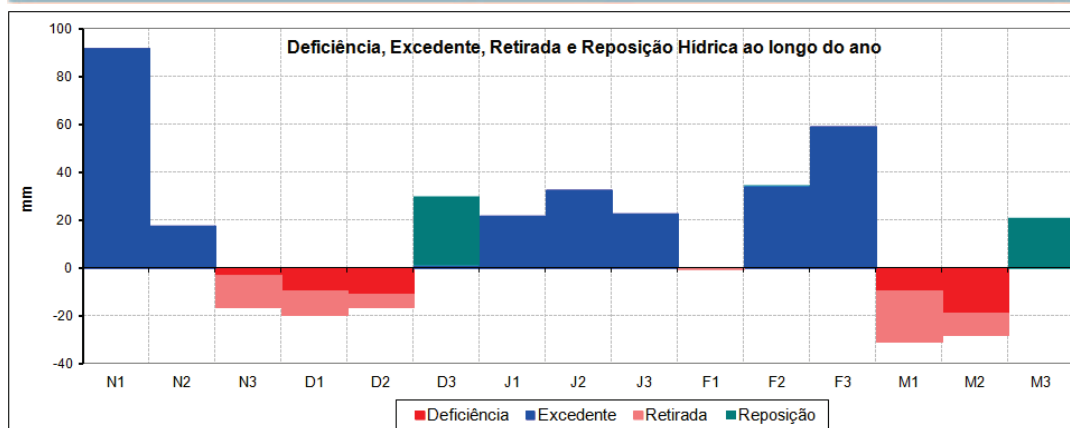
ANEXO A - Médias decendiais (Dec) da temperatura mínima (T_{min.}), temperatura máxima (T_{max.}), temperatura média (T_{média}), Irradiância (Q_{g- Real}), pressão e precipitação (P) da estação meteorológica de Dois Vizinhos, PR (2010-2011).

Mês	Dec	T _{min.}	T _{max.}	T _{média}	Q _{g-Real}	Pressão	P (mm)
Novembro	1	21,83	23,23	22,53	869,56	947,12	127,6
Novembro	2	21,39	22,80	22,10	799,03	949,12	52,00
Novembro	3	23,34	24,87	24,11	735,13	948,23	25,00
Dezembro	1	23,04	24,56	23,80	993,19	947,85	20,00
Dezembro	2	22,54	24,11	23,33	1095,53	948,42	20,70
Dezembro	3	23,28	24,71	23,99	770,44	947,63	72,70
Janeiro	1	22,91	24,38	23,65	933,12	946,11	58,80
Janeiro	2	22,50	24,09	23,29	948,69	945,14	67,40
Janeiro	3	23,22	24,61	23,91	929,85	949,91	62,60
Fevereiro	1	22,70	23,75	23,22	698,82	948,43	33,00
Fevereiro	2	22,67	23,98	23,33	862,56	949,82	67,00
Fevereiro	3	22,69	24,00	23,35	682,02	948,52	85,00
Março	1	22,41	23,95	23,18	995,69	949,80	0,40
Março	2	22,99	24,51	23,75	908,81	949,12	4,60
Março	3	22,38	23,54	22,96	762,49	950,69	53,80

ANEXO B - Balanço hídrico decendial indicando o extrato do balanço hídrico com deficiência e excesso de precipitação (a) e balanço hídrico com deficiência, excedente, retirada e reposição (b). Adaptado de Rolim et al. (1998)



(a)



(b)

