



**RAFAEL PARREIRA DINIZ**

**ANÁLISE DIALÉLICA E CORRELAÇÃO  
ENTRE CARACTERES ENVOLVENDO  
PROGÊNIES DE MILHO EM DOSES  
CONTRASTANTES DE NITROGÊNIO**

**LAVRAS – MG**

**2015**

**RAFAEL PARREIRA DINIZ**

**ANÁLISE DIALÉLICA E CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES  
ENVOLVENDO PROGÊNIES DE MILHO EM DOSES  
CONTRASTANTES DE NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. João Cândido de Souza

**LAVRAS – MG**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Diniz, Rafael Parreira.

Análise dialética e correlação entre caracteres envolvendo  
progênies de milho em doses contrastantes de nitrogênio / Rafael  
Parreira Diniz. – Lavras : UFLA, 2015.

119 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): João Cândido de Souza.

Bibliografia.

1. Zea mays L. 2. Efeitos aditivos e não aditivos. 3. Análise de  
tilha. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**RAFAEL PARREIRA DINIZ**

**ANÁLISE DIALÉLICA E CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERES  
ENVOLVENDO PROGÊNIES DE MILHO EM DOSES  
CONTRASTANTES DE NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 11 de fevereiro de 2015.

Dr. José Airton Rodrigues Nunes UFLA

Dr. José Donizeti Alves UFLA

Dra. Livia Maria Chamma Davide UFGD

Dr. Renzo Garcia Von Pinho UFLA

Dr. João Cândido de Souza

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2015**

A todos os meus familiares, amigos e orientadores que participaram da minha formação acadêmica desde o início da graduação até o doutorado nesta renomada instituição de ensino superior que a Universidade Federal de Lavras tem se tornado.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Uma tese não se faz em quatro anos de doutorado. Ela se inicia quando entramos na vida acadêmica, na qual aprendemos, passo a passo, como se fazer pesquisas. O conhecimento científico é lapidado por meio dos nossos orientadores, das amizades que são construídas ao longo dos anos, assim como dos colegas que sempre contribuiram direta e indiretamente. Desse modo, a tese surge. Então, de modo singelo, agradeço a todos que estiveram presente em minha vida desde o nascimento acadêmico em 2005, até os dias atuais.

A Deus, pela vida e por ser fonte de energia para minha vida.

Aos meus pais, Rondon e Roseli, pelo apoio incondicional, amor, carinho e dedicação prestados a mim durante toda vida.

Aos meus irmãos, Fabíola e Geraldo, pelos fortes laços de amizade e amor

A todos os meus familiares, pelo apoio.

À professora Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho, pela orientação e amizade durante minha graduação.

Ao professor Dr. Renzo Garcia Von Pinho, pela orientação e amizade durante o mestrado. Sem dúvidas, foi imprescindível para meu crescimento pessoal e profissional.

À Dra. Margaret Redinbaugh, orientadora durante meu doutorado sanduíche, pelos ensinamentos de como ser apaixonado pela pesquisa.

Ao professor Dr. João Cândido de Souza, pela orientação, amizade e confiança depositados em mim, para a condução deste trabalho e pela contribuição para o aprimoramento profissional e pessoal.

Aos professores José Airton Rodrigues Nunes e Lívia Maria Chamma Davide pelos ensinamentos transmitidos durante a vida acadêmica, assim como pelas sugestões na defesa desta tese.

Ao CNPq e à CAPES, por concederem bolsas de estudos.

Aos demais professores de Genética e Melhoramento de Plantas, Magno, João Bosco, Flávia, Elaine e a pesquisadora Ângela, pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos amigos Fernando Guedes, Márcio Guedes, Kaio Olímpio e Renato Barbosa pela ajuda na realização das análises estatísticas e redação desse trabalho.

Aos amigos do milho, pelo convívio e auxílio na condução dos experimentos. Vocês me ensinaram ao longo dos anos o verdadeiro sentido do trabalho em equipe.

Aos amigos do GEN, pelas sugestões e contribuições para este trabalho.

Aos amigos de “estudos”, pela ajuda com as disciplinas.

Aos amigos de Lavras e pós-graduação pelo convívio.

Aos amigos de república, Lucas (Java), Filipe (Viçosa) e Pedro, pela convivência durante a graduação e pós-graduação.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente para o êxito deste trabalho. Sem vocês este trabalho não teria sido realizado.

**Muito obrigado!**

## Epígrafe

“Meu prezado senhor,  
Direi apenas algumas poucas palavras.

A vida fez de mim um homem bem familiarizado com as decepções. Aos 23 anos, tentei um cargo na política e perdi. Aos 24, abri uma loja que não deu certo. Aos 32, tentei um negócio de advocacia com amigos, mas logo rompemos a sociedade. Ainda naquele ano, tive um grave colapso nervoso e passei um bom tempo no hospital. Com 45 anos, disputei uma cadeira no Senado e não ganhei. Aos 47, concorri à nomeação pelo Partido Republicano para a Eleição Geral e fui derrotado. Aos 49, tentei o Senado e fracassei novamente. Mas, aos 51 anos, finalmente, fui eleito presidente dos Estados Unidos da América.

Por isso, não venha me falar de dificuldades, tropeços ou fracassos. Não me interessa saber se você falhou. O que me interessa é se você sabe aceitar o tropeço.

Todos os infortúnios que vivi me tornaram um homem mais forte, me ensinaram lições importantes. Aprendi a tolerar os medíocres; afinal, Deus deve amá-los, porque fez vários deles. Aprendi que os princípios mais importantes podem e devem ser inflexíveis. Aprendi que, quando se descobre que uma opinião está errada, é preciso descartá-la. Aprendi que a melhor parte da vida de uma pessoa está nas suas amizades. Aprendi que nunca se deve mudar de cavalo no meio do rio.

Se você está vivendo um momento temporário de fracasso, posso afirmar, com a certeza da minha maturidade, ou dolorida experiência, que você jamais falhará se estiver determinado a não fazê-lo.

Por mais que você encontre dificuldades pelo caminho, não desista. Pois saiba que o campo da derrota não está povoado de fracassos, mas de homens que tombaram antes de vencer.”

Sinceramente,

ABRAHAM LINCOLN  
16º presidente norte-americano



## RESUMO

A eficiência do uso do nitrogênio em plantas é uma importante área de estudo em pesquisas agrárias. Isso porque a redução na aplicação de fertilizantes nitrogenados nos atuais sistemas de produção pode significar redução de custos, além de redução de problemas ambientais, tornando o sistema de cultivo mais sustentável. Sendo assim, neste trabalho objetivou-se estudar o controle genético e caracterizar progênies  $S_{0.2}$  em relação à eficiência do uso do nitrogênio, além de verificar, por meio de correlações fenotípicas e relações de causas e efeitos, se existe diferenças entre caracteres agronômicos de plantas de milho desenvolvidas em ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo. Quatro progênies previamente classificadas quanto à responsividade e tolerância ao nitrogênio foram cruzadas no esquema de dialelo completo, obtendo os híbridos  $F_1$ 's e os recíprocos. Os genitores, as combinações híbridas e mais quatro testemunhas foram avaliadas em dois experimentos com diferentes disponibilidades de nitrogênio no solo, baixa e alta, sob o delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições. As características avaliadas foram: teor de clorofila nas folhas, florescimento masculino e feminino, diâmetro do colmo, altura da planta, altura da primeira espiga, sanidade, *stay-green*, prolificidade, produtividade de grãos e componentes de produção. Foram realizadas análises de variâncias individuais para cada experimento, e posteriormente foi realizada a análise conjunta. Também foi realizada a análise dialélica por meio do método 1 de Griffing, além da estimativa das correlações fenotípicas e efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha. Os efeitos não aditivos foram mais importantes e estáveis para a eficiência do uso do nitrogênio quando se avaliou a produtividade de grãos. A classificação das progênies híbridas não foi estável quando se avançou uma geração de autofecundação. A correlação fenotípica do teor de clorofila e a produtividade de grãos foi significativa somente para o ambiente alto N. O florescimento feminino, para o ambiente baixo N, apresentou efeito direto sobre a produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Análise dialélica. Efeitos aditivos e não aditivos. Correlação fenotípica. Análise de trilha.

## ABSTRACT

Nitrogen use efficiency of plants is an active area of study in agricultural research. This is because reduction in the input of nitrogen fertilizers in the production systems can lead to reductions in costs and reduction of environmental problems while creating more sustainable farming system. This research aimed to study the genetic control, characterize progenies  $S_{0:2}$  regarding the nitrogen use efficiency and to verify, through correlations and relationships of cause and effect, whether there are differences between agronomic traits of maize plants grown in environments with low and high availability of nitrogen in the soil. Four progenies previously classified as responsiveness and tolerance to nitrogen were crossed in complete diallel scheme, obtaining the  $F_1$ 's hybrids and reciprocals crosses. The progenies, the hybrids and four controls were set up in two experiments with different nitrogen availability in the soil, low and high, in a randomized complete block design with three replications. The characteristics evaluated were: the leaves chlorophyll content, male and female flowering, stem diameter, plant height, first ear height, plant healthy, stay-green, prolificacy and grain yield, and yield components traits. Analyzes of variance were performed for each experiment, and the joint analysis was subsequently performed. The diallel analysis for grain yield was carried out by using the Griffing's method 1, besides the estimation of correlations and direct and indirect effects through path analysis. The non-additives effects were more important and stable for the nitrogen use efficiency when assessing grain yield. The classification of hybrid progenies was not stable when it advanced a generation of self-pollination. The phenotypic correlation of leaves chlorophyll content and grain yield was significant only in high-N environment. The female flowering for low-N environment presented a direct effect on grain yield.

Keywords: *Zea mays* L. Diallel analysis. Additive and non-additive effects. Phenotypic correlation. Path analysis.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	13
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1 Nitrogênio e a planta de milho</b> .....	16
<b>2.1.1 Nitrogênio</b> .....	16
<b>2.1.2 Fisiologia da planta de milho</b> .....	17
<b>2.1.3 Metabolismo do nitrogênio</b> .....	20
<b>2.1.4 A eficiência do uso do nitrogênio</b> .....	21
<b>2.1.5 Seleção de plantas eficientes no uso do nitrogênio</b> .....	23
<b>2.2 Cruzamentos dialélicos</b> .....	29
<b>2.3 Cruzamentos recíprocos</b> .....	31
<b>2.4 Ação gênica</b> .....	31
<b>2.5 Correlação</b> .....	32
<b>2.6 Análise de trilha</b> .....	33
<b>3 CONCLUSÕES</b> .....	35
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	43
<b>ARTIGO 1 Controle genético da eficiência do uso do nitrogênio em progênies parcialmente endogâmicas de milho tropical</b> .....	44
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	46
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	47

<b>3 RESULTADOS</b> .....	51
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	63
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	72
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	73
<b>ANEXOS</b> .....	77
<b>ARTIGO 2 Associações entre caracteres agronômicos e a produtividade de grãos sob o enfoque da eficiência do uso do nitrogênio</b> .....	89
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	91
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	93
<b>3 RESULTADOS</b> .....	96
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	104
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	110
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	111
<b>ANEXOS</b> .....	116

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

Com o crescente aumento populacional, o aumento da eficiência de produção de alimentos se faz necessário. Diversos são os meios empregados na agricultura moderna para atingir tal objetivo. Para a produção de cereais, como o milho, o uso de fertilizantes nitrogenados tem sido associado ao aumento do potencial produtivo dessa cultura.

O uso de fertilizantes nitrogenados no sistema de produção de milho moderno se faz necessário, pois a disponibilidade de nitrogênio (N) por meio da decomposição da matéria orgânica não é suficiente para atender à demanda das plantas. Tem sido visto que o nitrogênio é um dos principais elementos absorvido por plantas de milho, contudo a eficiência de absorção é baixa, assim, o desenvolvimento de plantas com maior eficiência do uso do nitrogênio (EUN) pode reduzir o consumo de fertilizantes nitrogenados, implicando em redução no custo de produção e na poluição ambiental, tornando o sistema atual de cultivo com maior sustentabilidade.

Pesquisas visando ao desenvolvimento de genótipos com maior EUN têm sido o foco de muitos programas de melhoramento de milho no Brasil e em outros países. Nessas, observa-se que existem diferenças no comportamento de genótipos quando avaliados em condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio no solo, indicando que há variabilidade para promover a seleção. É oportuno salientar que a EUN é um caráter complexo, controlado por diversos genes, por conseguinte a influência do ambiente é um fator que se deve levar em consideração, pois a expressão de genes das características pode ser diferente

dependendo do teor de nitrogênio disponível no solo. Por isso, a avaliação dos genótipos, assim como a mensuração de características em cada ambiente se faz necessário.

Para o sucesso de um programa de melhoramento, dentre os diversos parâmetros que se deve mensurar, o controle genético das características é importante, pois permite o melhorista escolher o método mais adequado para a condução de populações e seleção de genótipos. Os resultados na literatura não são consistentes em relação à predominância de efeitos aditivos e/ou de dominância envolvidos no controle genético da EUN, isso pode ser devido à influência do germoplasma. Assim, é importante que cada programa de melhoramento com o objetivo de desenvolver genótipos com maior EUN obtenha estimativas dos diversos parâmetros.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é quais características devem ser mensuradas para favorecer a seleção de genótipos com maior EUN. Conforme salientado, a EUN é um caráter complexo e com herdabilidade baixa, com isso, variáveis secundárias com elevadas herdabilidades e correlacionadas com essa característica podem ser utilizadas para auxiliar no processo de seleção e obter um ganho genético satisfatório. Diversas variáveis possuem correlação com a EUN, contudo, a magnitude dessa estimativa pode ser alterada quando as plantas crescem em diferentes condições de disponibilidade de nitrogênio no solo. Salienta-se ainda, que as estimativas das correlações não informam as relações de causa e efeitos, assim como não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores. Nesse caso, o uso da análise de trilha pode ser interessante.

A análise de trilha proporciona um conhecimento detalhado das influências das variáveis envolvidas em um diagrama previamente estabelecido e justifica a existência de correlações positivas e negativas, de altas e baixas magnitudes entre as variáveis. O uso dessa análise é reportado na literatura para

diversas culturas, inclusive para o milho. Todavia, resultados comparando as relações de causa e efeitos de variáveis relacionadas à EUN de genótipos desenvolvidos em condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio no solo são escassos.

Diante do exposto, no presente trabalho objetivou-se estudar o controle genético e caracterizar progênies  $S_{0.2}$  de milho em relação à eficiência do uso do nitrogênio, além de verificar, por meio de correlações fenotípicas e relações de causas e efeitos, se existe diferenças entre caracteres agronômicos de plantas desenvolvidas em ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Nitrogênio e a planta de milho**

#### **2.1.1 Nitrogênio**

A maioria dos solos apresenta deficiência de nitrogênio (N) em relação à demanda das culturas, pelo menos durante certa fase de desenvolvimento das plantas (WIETHÖLTER, 1996). Devido às transformações biológicas e químicas que o N está sujeito no solo e que podem alterar significativamente a quantidade disponível deste elemento às plantas, o entendimento dos diversos processos que ocorrem é fundamental para tornar o manejo de N adequado em termos econômicos e ambientais.

A suposição de que 2 a 3% do N da matéria orgânica é mineralizada durante uma safra e estará disponível às plantas, deve ser encarada com atenção. O teor de matéria orgânica no solo (MOS), na maior parte deles, está em estado de quase equilíbrio, ou seja, o seu conteúdo não varia significativamente de um ano para o outro. No estado contínuo, a quantidade de N liberada durante o ano é contrabalanceada pela imobilização de N de outras fontes na MOS recém-formada. Dessa forma, uma liberação líquida anual só ocorre quando o teor de matéria orgânica está “declinando”, uma condição que deve ser evitada, pois esta geralmente conduz a uma redução da capacidade produtiva do solo ao longo do tempo (STEVENSON, 1986). Com isso, fica evidente que as plantas possuem uma dependência de nitrogênio inorgânico, sintetizado por meio de processos industriais.



Estima-se que 85 a 90 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados são adicionados anualmente nos solos agricultáveis no mundo (GOOD; SHRAWAT; MUENCH, 2004). Contudo, menos de 50% do nitrogênio aplicado no solo sob a forma de fertilizantes é utilizado pelas culturas (ZHU, 2000). Na cultura do milho, foi verificado que apenas 22% do nitrogênio absorvido pelas plantas foi oriundo da aplicação de fertilizantes químicos, quando se analisou a parte aérea das plantas (GAVA et al., 2010). Com isso, é evidente que parte desses fertilizantes é perdida. Tais perdas são decorrentes de processos de lixiviação, volatilização e escoamento superficial, por conseguinte, há riscos de poluição ambiental, além de aumentar o custo de produção.

Os fertilizantes nitrogenados estão entre os mais onerosos dos fertilizantes aplicados (GOOD; SHRAWAT; MUENCH, 2004). Todavia, é válido salientar que a aplicação de nitrogênio é importante para o aumento de produtividade das culturas, principalmente cereais.

Para os cereais cultivados no Brasil, em especial o milho, a adubação nitrogenada é considerada um dos principais fatores de produção responsáveis pelo aumento da produtividade (ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004). Nesse contexto, diversas pesquisas foram conduzidas com o objetivo de avaliar o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho (CANTARELLA; DUARTE, 2004; GAVA et al., 2010). Porém, para o entendimento da relação do nitrogênio para com a planta, fica implícito que o conhecimento da fisiologia da planta é de extrema importância.

### **2.1.2 Fisiologia da planta de milho**

Sabe-se que o nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pela planta de milho (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Também é

reconhecida a importância desse nutriente quanto às funções no metabolismo das plantas, participando como constituinte de proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromo, clorofila, pigmentos e produtos secundários (FERREIRA et al., 2007). O nitrogênio também está relacionado com processos fisiológicos, tais como, fotossíntese, respiração, desenvolvimento e atividade das raízes, absorção iônica de outros nutrientes, crescimento e diferenciação celular (GAVA et al., 2010). Esse nutriente estimula a germinação das sementes na forma de nitrato (GUIMARÃES, 1999).

A germinação das sementes, iniciada graças às reservas próprias do embrião, é mantida com a degradação dos componentes dos tecidos de reserva, pela atividade enzimática e fluxo dos componentes solúveis às regiões de crescimento (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Assim, após a reidratação das sementes, é verificado um aumento da taxa de respiração e da atividade metabólica, na qual ocorre a mobilização das reservas de carbono e nitrogênio.

Após a germinação, os teores de nitrogênio absorvidos são relativos ao estágio de desenvolvimento da cultura (GAVA et al., 2010), à quantidade de raízes e à taxa de absorção por unidade de peso de raiz (moles de  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$   $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$  raiz) (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Com isso, o N absorvido é acumulado na matéria seca da planta.

A acumulação da matéria seca em plantas de milho se processa de forma contínua até o estágio de maturação dos grãos, existindo período de acumulação mais intensa próxima ao florescimento feminino. O acúmulo de nitrogênio segue tendência similar ao da matéria seca, com a taxa máxima ocorrendo no florescimento feminino (CANTARELLA; DUARTE, 2004). As plantas de milho acumulam grande quantidade de nitrogênio próximo ao período de polinização, correspondendo a um pico de acúmulo total de nitrogênio quando se inicia a formação das espigas. Quando metade da massa de grãos está formada, a

absorção de nitrogênio cessa, porém, o acúmulo continua e o nitrogênio é oriundo de outros tecidos das plantas, por exemplo, do colmo.

Gava et al. (2010) avaliaram as possíveis alterações na produtividade de grãos no acúmulo de fitomassa vegetal e na eficiência de utilização de nitrogênio em milho, cultivado com diferentes doses de N-fertilizante. Para isso, utilizaram a técnica de diluição isotópica com  $N_{15}$ . Foi verificado que a aplicação de ureia aos 33 dias após a emergência (DAE) resultou em maiores acúmulos de matéria seca da parte aérea na planta. Verificou-se também que 2% do total do acúmulo ocorreram no período de 0-20 DAE, 91% (20-90 DAE) e 7% (90-140 DAE). Os autores ainda destacaram a importância do processo de mineralização do N orgânico, pois somente 22% do N adicionado ao solo foram quantificados na parte aérea. Assim, associado ao conhecimento da fase na qual a planta utiliza maiores teores de N, é necessário definir as quantidades desse elemento a serem fornecidas à planta.

Estima-se que para a produção de uma tonelada de grãos seja necessário de 20 a 28 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (CANTARELLA, 1993; KARLEN; SADLER; CAMP, 1987). A aplicação de N em milho tem sido feita de forma parcelada, aproximadamente um terço do N no plantio e o restante em cobertura, visto que, com isso há redução na quantidade de sais no sulco de plantio além de evitar perdas por lixiviação (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Gava et al. (2010) em concordância com Cantarella e Duarte (2004) comentam que a recuperação do N aplicado em cobertura é maior do que a empregada no plantio. No plantio, na primeira e na segunda cobertura as taxas de recuperação foram de 38, 45 e 47%, respectivamente (ULHOA et al., 1982). A recuperação do N é normalmente menor quanto maior a dose aplicada (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Todavia, para melhor entendimento da recuperação de N pela planta e associação à eficiência do uso do N, é necessário ter conhecimento sobre o metabolismo da assimilação do nitrogênio.

### 2.1.3 Metabolismo do nitrogênio

A fixação de nitrogênio atmosférico pode ser por meio de processos industriais ou por meio da fixação biológica (TAIZ; ZEIGER, 2009). Do ponto de vista agrícola, a fixação biológica do nitrogênio é crítica, pois raramente a produção industrial de fertilizantes à base de nitrogênio supre a demanda (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT, 2005). Apesar da incorporação ao solo, seja por fixação biológica, fertilizantes químicos ou associado à matéria orgânica, o nitrogênio possui uma dinâmica complexa no solo, sendo influenciado pelo ambiente.

A disponibilidade de nitrogênio no solo é geralmente baixa, podendo oscilar no tempo e no espaço devido a fatores, tais como, precipitação, temperatura, vento, tipo e pH do solo. Além disso, a forma preferencial de absorção de N depende desde a adaptação das plantas até as condições do solo. Geralmente, plantas adaptadas a solos com pH alto e mais aeróbicos tendem a absorver o nitrato (MAATHUIS, 2009). Assim, para condições brasileiras o nitrato é a forma preferencial de absorção de nitrogênio pelas plantas.

Após absorvido, o nitrato é reduzido a nitrito no citosol, sendo que a enzima redutase do nitrato catalisa essa reação. O nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico. Assim, as células vegetais transportam rapidamente o nitrito gerado pela redução do nitrato do citosol para o interior dos cloroplastos nas folhas e dos plastídios nas raízes. Nessas organelas, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito à amônia (TAIZ; ZEIGER, 2009).

As células vegetais evitam a toxicidade da amônia pela rápida conversão desse produto em aminoácidos. A principal rota para essa conversão envolve as ações sequenciais da glutamina sintetase (GS) e glutamato sintetase (GOGAT).

A GS sintetiza glutamina a partir da amônia e glutamato, e a GOGAT transfere o grupo amida da glutamina para o 2-oxoglutarato formando dois glutamatos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Depois de assimilado como glutamina e glutamato, o nitrogênio é incorporado a outros aminoácidos por meio de reações de transaminação. A via GS/GOGAT também incorpora a amônia proveniente da absorção do solo e da fotorrespiração.

Como o nitrito e a amônia podem ser tóxicos para as plantas, todo o processo, desde a redução do nitrato até a formação de glutamina ocorre no mesmo local, podendo ser nas raízes ou na parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Embora exista um grande número de pesquisas sobre enzimas que participam do metabolismo no nitrogênio, a questão de quais enzimas são limitantes e restringem a efetividade do esforço para aumentar a eficiência no uso do nitrogênio ainda não está bem elucidada.

#### **2.1.4 A eficiência do uso do nitrogênio**

O aumento de produtividade é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento de plantas. Entretanto, existem preocupações sobre a sustentabilidade ambiental nos sistemas de produção, assim como problemas oriundos do aumento do uso de fertilizantes visando ao aumento da produtividade, o qual, por sua vez, está relacionado à redução na eficiência do uso de fertilizantes (TILMAN et al., 2002). Nesse sentido, a eficiência do uso de nutrientes em plantas tem adquirido grande relevância (FAGERIA; BALIGAR; LI, 2008; GALLAIS; COQUE, 2005).

Em geral, a eficiência do uso de nutrientes considera processos de ganho e perdas de carbono em relação aos processos associados com o ganho e perda dos principais nutrientes limitantes para a planta (WEIH; ASPLUND; BERGKVIST, 2011). Esta pode ser definida como uma planta com alta produtividade econômica a partir de uma dada quantidade aplicada e absorvida

do nutriente (FAGERIA; BALIGAR; LI, 2008). Também pode ser entendida como uma tolerância à limitação da disponibilidade de um dado nutriente. Para a cultura do milho, o nitrogênio é um dos principais nutrientes limitantes ao desenvolvimento das plantas. Assim, torna-se plausível o estudo da eficiência do uso deste nutriente.

Em fisiologia vegetal são abordadas duas definições relacionadas à eficiência do uso do nitrogênio: a primeira define como sendo a razão de miligramas (mg) de matéria seca da planta por mg de nitrogênio na planta; a segunda abordagem está relacionada à eficiência do uso do N para a fotossíntese, que é definida como a razão de mg de CO<sub>2</sub> fixado por mg de N na planta.

Outra definição foi proposta por Moll, Kamprath e Jackson (1982) considerando a cultura do milho. Os autores consideram que a eficiência do uso desse nutriente está relacionada com a quantidade produzida por unidade de nitrogênio disponível no solo, ou seja, é a massa de cem grãos dividida pela massa de N aplicado ao solo, ambas expressas na mesma unidade, como por exemplo, g planta<sup>-1</sup>.

Weih, Asplund e Bergkvist (2011) criaram um conceito funcional a partir de conceitos já existentes para analisar a eficiência do uso do nitrogênio em diferentes contextos (agronômico, fisiológico e ecológico) e aplicá-lo aos diversos tipos de culturas. A eficiência do uso do nitrogênio foi definida como sendo o teor de N da produção de grãos por unidade do teor de nitrogênio nos grãos. Assim, pode-se dividir eficiência em três componentes principais: eficiência na absorção de N, que é a média do teor de N durante os principais períodos de crescimento por unidade de teor de N nos grãos; a eficiência do N específica do grão, que reflete a biomassa do grão produzida por unidade do teor médio de N na planta durante o período principal de crescimento; e a concentração de N no grão, que reflete a conservação ou armazenagem.

Após a definição de conceitos e quais as características a serem avaliadas para estimar a EUN, a seleção de plantas pode ser efetuada.

### **2.1.5 Seleção de plantas eficientes no uso do nitrogênio**

A variação intraespecífica na resposta das plantas a determinado estresse nutricional, geralmente, está condicionada a diversos fatores morfológicos, anatômicos e fisiológicos. Dentre esses pode-se ressaltar a alteração da relação raiz/parte aérea; aumento do tamanho, densidade, diâmetro e formação de pelos do sistema radicular; associação com microrganismos; modificações do microambiente na rizosfera; distribuição e remobilização do nutriente na parte aérea, compreendendo remobilização das partes maduras como folhas velhas para meristemas de crescimento vegetativo e reprodutivo e variação nos parâmetros cinéticos de absorção. E, ainda, à capacidade do genótipo em manter o metabolismo normal com concentrações reduzidas do nutriente no tecido (MARSCHNER, 1995).

Os caminhos para se obter genótipos mais eficientes no uso do nitrogênio são bastante complexos, pois o metabolismo do N é influenciado por diversos fatores ambientais (HIREL et al., 2001; MAJEROWICZ et al., 2002). Para conduzir trabalhos visando à identificação de cultivares eficientes, um primeiro questionamento é como medir a eficiência. Diversos parâmetros morfológicos e fisiológicos têm sido adotados para auxiliar no entendimento da eficiência do uso do N e também para serem utilizados como indicadores dessa eficiência e da produtividade de grãos.

Tem sido proposta a classificação das cultivares em quatro categorias, dependendo da produção em solos pobres e da capacidade em responder à adubação (BLAIR, 1993), da seguinte forma:

- 1- cultivares eficientes e não responsivas (ENR): são as que apresentam alta produção sob baixos teores do elemento, não respondendo ao aumento do fornecimento desse elemento;
- 2- cultivares eficientes e responsivas (ER): são as que apresentam alta produção sob baixos teores do elemento, mas respondem positivamente ao aumento do fornecimento do elemento;
- 3- cultivares ineficientes e responsivas (IR): são as que produzem pouco sob baixos teores do elemento, respondendo positivamente ao aumento no fornecimento do elemento;
- 4- cultivares ineficientes e não responsivas (INR): são aquelas que produzem pouco sob baixos teores do elemento, não respondendo ao aumento no fornecimento do elemento.

Na avaliação da eficiência nutricional são utilizados diversos índices (BLAIR; CORDERO, 1978; MOLL; KAMPRATH; JACKSON, 1982). Destacam-se, entre eles, para seleção e classificação de genótipos, os índices que permitem avaliar isoladamente os processos de absorção, distribuição e utilização do nutriente para a produção de matéria seca de grãos (DECHEN; FURLANI; FURLANI, 1999). Alguns índices serão listados a seguir:

Eficiência agronômica (EA): é a produção econômica (grãos, por exemplo) obtida por unidade de nutriente aplicado e expressa em  $\text{kg kg}^{-1}$ . A EA pode ser calculada pela seguinte equação:  $EA = (Y_f - Y_0) / Q_f$ , em que  $Y_f$  é a produção, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção, em kg, sem adubação;  $Q_f$  é a quantidade de nutriente aplicado, em kg.

Eficiência fisiológica (EF): é a produção biológica obtida (grãos mais palha, em culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado, expressa em kg



$\text{kg}^{-1}$ . Às vezes, essa eficiência é também chamada eficiência biológica e pode ser calculada pela seguinte equação:

$EF = (Y_f - Y_0) / (N_{abf} - N_{abo})$ , em que  $Y_f$  é a produção total de matéria seca, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção total de matéria seca, em kg, sem adubação;  $N_{abf}$  é a acumulação de nutriente com adubação, em kg;  $N_{abo}$  é a acumulação de nutriente sem adubação, em kg. A acumulação de nutrientes é calculada pela multiplicação do peso da matéria seca da parte aérea e de grãos pelo teor do nutriente.

Eficiência na produção de grãos (IG): é a produção de grãos obtida por unidade de nutriente acumulado, em  $\text{kg kg}^{-1}$  e pode ser calculada pela seguinte equação:  $IG = (Y_f - Y_0) / (Q_{nf} - Q_{n0})$ , em que  $Y_f$  é a produção de grãos, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção de grãos, em kg, sem adubação;  $Q_{nf}$  é a acumulação de nutriente na parte aérea e grãos, em kg, com adubação e  $Q_{n0}$  é a acumulação de nutriente na parte aérea e grãos, em kg, sem adubação.

Eficiência de recuperação (RAN): é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado; a eficiência de recuperação de nutriente pode ser calculada pela seguinte equação:  $RAN = [(Q_{nf} - N_0) / Q_f] \times 100$ , em que  $Q_{nf}$  é acumulação de nutriente, em kg, com adubação;  $N_0$  é a acumulação de nutriente, em kg, sem adubação e  $Q_f$  é a quantidade do nutriente aplicado, em kg. A eficiência de recuperação de nutriente é, geralmente, expressa em porcentagem. Às vezes, a eficiência de recuperação é também chamada eficiência de aquisição de nutriente.

Eficiência de utilização (EUN): a eficiência fisiológica e a eficiência de recuperação podem ser combinadas para se calcular a eficiência da utilização do nutriente, como expressa a seguinte equação:  $EUN = EF \times RAN$ , em que EF é o índice de eficiência biológica e RAN, o índice de eficiência de recuperação. A EUN é expressa em  $\text{kg kg}^{-1}$ .

Com relação à eficiência do uso do nitrogênio, a maioria dos trabalhos foi realizada com gramíneas, principalmente com a cultura do milho. Um trabalho clássico para a interpretação dos fatores que contribuem para a eficiência da utilização do nitrogênio pelo milho foi apresentado por Moll, Kamprath e Jackson (1982). Foram avaliados oito híbridos de milho, de acordo com a produtividade de grãos, acumulação de N nos grãos e restos culturais. Diferenças foram encontradas em todos os níveis de N e para todos os caracteres avaliados. Sob baixa disponibilidade de N, a diferença entre híbridos na eficiência do uso do N ocorreu devido, principalmente, à variação na utilização do nutriente acumulado, bem como à proporção do N translocado para os grãos.

Muitos autores procuram caracterizar o que seria a planta ideal para um determinado objetivo, a qual se denomina “ideótipo”. Na Figura 1 estão alguns ideótipos relacionados à EUN, que foram recomendados, utilizados ou são baseados em associações com produtividade de grãos.

<b>Ideótipo</b>	<b>Vantagem almejada ou obtida</b>	<b>Referência.</b>
Absorção intensa e prolongada de N. com elevada translocação	Alto teor de proteína no grão	Pollmer et al (1979)
Absorção de N durante o enchimento dos grãos e manutenção de folhas verdes mais tempo para fotossíntese	Híbridos com maior EUN	Ma & Dwyer (1998)
Maior absorção, alto teor de N foliar e maior fotossíntese por unidade de N foliar	Alta EUN	McCullough et al (1994a)
Eficiência na utilização do N	Produtividade em solo com deficiência de N	Moll et al. (1982)
Eficiência na absorção do N	Produtividade em solos com alto nível de N	Moll et al. (1982)
Elevada sincronia no florescimento em solo com deficiência de N	Produtividade em solos com e sem deficiência de N	Santos et al (1998)
Prolifidade sob baixo N ou eficiência média nos ambientes de alta e baixa disponibilidade de N	Produtividade somente sob alta disponibilidade de N	Moll et al (1987)
Produtividade em solo com deficiência de N	Produtividade em solos com e sem deficiência de N	Lafitte & Edmeades (1994a)
Altura, sincronia no florescimento, número de grãos por espiga, índices de colheita e de colheita de N e eficiência na utilização do N para produção de grãos	Produtividade em solo com deficiência de N	Lafitte & Edmeades (1994a)
Produtividade sob baixo e alto N, alto teor de clorofila, maior altura e menor senescência sob baixo N	Produtividade em solos pobres sem prejuízo da produtividade em solos férteis para N	Lafitte & Edmeades (1994b)
Absorção de N antes da floração	Produtividade em solos com alto teor de N	Lafitte & Edmeades (1994c)
Maior razão raiz parte aérea	Produtividade em solos com e sem deficiência de N	Lafitte & Edmeades (1994c)
Seleção somente para produtividade em solos pobres em N	Produtividade em solo com deficiência de N	Bänziger et al (1997)
Índice Smith-Hazel para sincronia no florescimento, prolifidade, teor de clorofila e senescência lenta	Produtividade 14% maior em solos pobres em N, comparado com seleção só para produtividade	Bänziger et al (1997)
Elevado teor de N no grão e na planta toda	Produtividade em solos com e sem deficiência de N	Machado (1997)
Absorção de N, partição de C e N para os grãos e elevado teor de N nos grãos em solos pobres em N	Produtividade em solo com deficiência de N	Lafitte et al (1997)
Aumento na produção de fotoassimilados	Elevação na produtividade devida ao aumento na absorção de N	Moll et al. (1994)
Acúmulo foliar de nitrato, atividade de enzimas de assimilação de N	Produtividade em solo com deficiência de N	Hirel et al. (2001)
Capacidade do sistema radicular de explorar maior volume de solo	Produtividade em solo com deficiência de N	Gastal & Lemaire (2002)

FIGURA 1 Ideótipos relacionados à eficiência do uso do N em milho

Ao estudar a eficiência do uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho, Majerowicz et al. (2002) observaram que a massa seca das plantas deficientes em N apresentou elevada correlação positiva (0,86), com a massa seca acumulada nas raízes dos diferentes genótipos. Os autores relatam a importância do estudo das características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular na seleção de genótipos eficientes quanto ao uso do N.

Para pesquisar com mais detalhes o controle genético da produtividade de grãos do milho sob baixo nível de N, estudos de correlação entre os diferentes componentes da eficiência de utilização de nitrogênio e produtividade de grãos têm sido efetuados (ABE et al., 2013; AJALA et al., 2010; MACHADO et al., 2001). Outro objetivo é identificar os componentes da EUN, as regiões cromossômicas e os genes candidatos que podem controlar a produção e seus componentes, direta ou indiretamente, quando a quantidade de fertilizantes nitrogenados fornecidos às plantas é variável (HIREL et al., 2007).

Um parâmetro adicional de importância para avaliação da EUN refere-se ao índice de colheita (IC), que corresponde à razão entre a produção de grãos e a biomassa total (DAWSON; MURPHY; JONES, 2008). Quanto maior for o índice de colheita, significa que a planta converte, com maior eficiência, o rendimento biológico em rendimento de grãos. Por exemplo, o IC de 20%, comparado ao IC de 40%, para um mesmo rendimento biológico, indica que as plantas com IC de 40% são duas vezes mais eficientes na conversão de seu rendimento biológico em grãos.

Alguns índices propostos para estresse hídrico também podem ser adaptados para estresse de nitrogênio. Fischer e Maurer (1978) desenvolveram o índice de intensidade de seca (IIS), que considera a produtividade de todas as linhagens em condições de cultivo com (Y.c) e sem deficiência hídrica (Y.s), resultando na seguinte expressão:  $IIS = 1 - (Y.c/Y.s)$ . A partir do IIS é calculado o índice de suscetibilidade à seca para cada linhagem.

Os valores desejáveis de IIS para a seleção dos melhores genótipos dependerão da média da produtividade de grãos, das condições climáticas e da variabilidade genética do material avaliado. Contudo, de acordo com Singh (2007), ambientes com leve estresse ( $IIS < 0,5$ ), permitem apenas identificar cultivares com um intermediário nível de tolerância à seca, sendo ambientes com médio IIS requeridos para identificar cultivares com altos níveis de tolerância.

Uma forma de agrupar grande número de genótipos de acordo com sua eficiência e responsividade a um dado nutriente foi apresentada por Fageria e Barbosa Filho (1982). Esses autores utilizaram gráficos bidimensionais do tipo  $(x, y)$ , em que, no eixo  $x$ , tem-se a produtividade de grãos sob baixo nível do nutriente e, no eixo  $y$ , tem-se a eficiência da utilização do nitrogênio  $[(PGA - PGB) / P(A-B)]$ , em que  $PGA$  e  $PGB$  correspondem à produção de grãos nos ambientes com alta e baixa dose do nutriente, respectivamente.

Assim, o desenvolvimento de cultivares eficientes no uso de nutrientes requer seleção em ambientes específicos para permitir a expressão dos alelos favoráveis que conferem vantagens adaptativas às condições de estresse, possibilitando a seleção de genótipos superiores quanto às características de absorção, assimilação e/ou utilização de nutrientes.

## **2.2 Cruzamentos dialélicos**

O conceito de cruzamento dialélico foi proposto primeiramente por Griffing (1956) e Hayman (1954). É um método genético-estatístico que auxilia na seleção de genitores com base na capacidade de combinação relacionada a características agrônômicas de interesse em populações segregantes. O uso do dialélico permite, ainda, conhecer o controle genético dessas características, que orienta o melhorista a escolher o método de condução da população ideal para uma determinada característica (CRUZ; REGAZZI, 2006).

Na análise dialélica proposta por Griffing (1956), o desempenho médio de cada genótipo é decomposto na capacidade geral de combinação (CGC), associada a efeitos principais, e capacidade específica de combinação (CEC), associada a interações entre locos. A CGC estima o comportamento médio de um genitor em uma série de combinações híbridas e está associada principalmente aos efeitos aditivos dos alelos e à ação epistática do tipo aditiva. Já a CEC é usada para estimar os desvios do comportamento de um híbrido em relação ao esperado com base na CGC, estando associada aos efeitos de dominância e epistasia (CRUZ; REGAZZI, 2006). As estimativas da CGC e CEC são utilizadas para avaliar a diversidade genética, selecionar linhagens, definição de grupos heteróticos, estimar a heterose e desenvolver híbridos.

Griffing (1956) descreveu modelos estatísticos para analisar quatro tipos de esquemas de cruzamentos dialélicos, método 1, 2, 3 e 4. No método 1 são incluídos os genitores, um grupo de híbridos  $F_1$ 's e seus recíprocos (todas as  $p^2$  combinações); o método 2 inclui os genitores e os híbridos  $F_1$ 's, sem os recíprocos ( $[p(p+1)]/2$  combinações); no método 3 consideram-se os híbridos  $F_1$ 's e seus recíprocos, sem os genitores ( $[p(p+1)]$  combinações); e, no método 4, são incluídos somente os híbridos  $F_1$ 's, sem os recíprocos e os genitores ( $[p(p-1)]/2$  combinações). A escolha do esquema de dialelo a ser adotado, assim como o método de análise é relacionada com fatores experimentais, como disponibilidade de recursos financeiros e área para plantio, além da cultura e característica a ser avaliada.

Para a cultura do milho, a produtividade de grãos é altamente determinada pela composição do endosperma. Isso é decorrente do endosperma ser um tecido triploide ( $3n$ ), com duas partes maternas e uma paterna (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; RAMALHO et al., 2012). Por conseguinte, o método de Griffing a ser adotado para a realização das análises deveria incluir os cruzamentos recíprocos.

### **2.3 Cruzamentos recíprocos**

Entende-se por cruzamento recíproco aquele em que o genitor é usado ora como fêmea, ora como macho. Desse modo, se a herança de um dado caráter é controlada por genes nucleares, os resultados de um cruzamento e seu recíproco serão idênticos. Porém, se for um caso em que o caráter é decorrente de efeitos citoplasmáticos, os resultados dos cruzamentos recíprocos serão diferentes (RAMALHO et al., 2012).

Os cruzamentos recíprocos estão incluídos nos métodos 1 e 3 de Griffing (1956), os quais permitem estimar o efeito recíproco além dos efeitos maternos e não maternos (ZHANG et al., 2005). Contudo, para incluir os cruzamentos recíprocos nas avaliações, os melhoristas têm que levar em consideração diversos fatores como o número de genitores que irão compor o dialelo, recursos financeiros, mão de obra, a quantidade de sementes disponíveis, área para experimentação e características a serem avaliadas.

O efeito dos recíprocos influencia as estimativas da CEC (FAN et al., 2014; MAHGOUB, 2011; YAO et al., 2013). As estimativas do efeito da CEC foram diferentes quando a linhagem foi usada como genitor feminino em relação quando a mesma linhagem foi usada como genitor masculino (FAN et al., 2014; MAHGOUB, 2011). As estimativas dos efeitos dos recíprocos possuem um maior impacto sobre a determinação da produtividade de grãos de híbridos (FAN et al., 2014; YAO et al., 2013).

### **2.4 Ação gênica**

O uso do dialelo visando a estimar os efeitos da CGC e CEC para linhagens contrastantes quanto à EUN tem sido reportado na literatura (AJALA et al., 2010; BERTRÁN et al., 2003; EL-BADAWY, 2013; GUEDES et al., 2014). Salienta-se que o tipo de herança das características relacionadas com a

eficiência do uso do nitrogênio em diferentes ambientes com disponibilidade de nitrogênio permite que os melhoristas adotem estratégias de seleção mais adequadas para cada ambiente (AJALA et al., 2010).

A EUN em milho tem sido pesquisada em diversos países. A elucidação do controle genético tem sido enfatizada, contudo os resultados disponíveis na literatura são contraditórios. Isso pode estar relacionado às questões de germoplasma, tipo de estresse, dentre outros fatores. Desse modo, aconselha-se que pesquisas visando ao desenvolvimento de genótipos com melhor utilização do nitrogênio seja feita em cada população de estudo (FRITSCH NETO; BORÉM, 2011).

## **2.5 Correlação**

A correlação é uma medida de intensidade de associação linear entre duas características ou uma medida do grau de variação conjunta. Ela é adimensional, sendo que sua magnitude varia de -1 a + 1. Quanto mais próxima da unidade, maior é o grau de associação entre as duas características e quanto mais próximas de zero, menor. Uma correlação negativa indica que a seleção objetivando ganho de uma característica provocará efeito contrário na outra. Um coeficiente de correlação com valor igual a zero não indica, necessariamente, a falta de correlação entre duas variáveis, mas ausência de relação linear entre elas (CRUZ; REGAZZI, 2006).

Em programas de melhoramento genético, os melhoristas trabalham com a seleção de várias características ao mesmo tempo. Desse modo, o estudo das relações existentes entre caracteres de grande relevância permitem o conhecimento das alterações que ocorrem em um caráter quando se realiza a seleção por meio de outro a ele correlacionado e, principalmente, quando a seleção em um deles apresenta dificuldades pela baixa herdabilidade e/ou



dificuldade de mensuração, possibilitando a seleção indireta. Hallauer, Carena e Miranda Filho (2010) relatam a importância dos coeficientes de correlação simples, uma vez que, com eles, pode-se quantificar o grau de associação genético e não genético entre dois ou mais caracteres. Essas associações podem possibilitar ganhos diretos e indiretos com a seleção de caracteres correlacionados, principalmente em seleção truncada em caracteres de baixa herdabilidade, aumentando assim a eficiência no processo.

Os coeficientes de correlação, apesar de serem de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências dos fatores na determinação de caracteres complexos, não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores. Para tanto, estudos sobre o desdobramento do coeficiente de correlação são feitos pela análise de trilha.

## **2.6 Análise de trilha**

A análise de trilha consiste em um método estatístico que permite a decomposição dos coeficientes de correlação. Com ela se pode quantificar os efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ; REGAZZI, 2006). O coeficiente de trilha é um método que analisa um sistema de múltiplas variáveis, relacionadas de modo linear, incluindo todos os fatores básicos, conhecidos como causas, e suas variáveis resultantes, denominadas efeitos (LI, 1956).

Para melhorar a acurácia das estimativas dos efeitos, o melhorista tem que saber a importância das características relacionadas à variável principal, pois desse modo, o diagrama casual poderá ser composto (CARVALHO, 1995).

Outro ponto importante da análise é diagnosticar a presença da multicolinearidade, a qual pode confundir os efeitos gerados pela análise. Há

diversos modelos que podem ser utilizados para diagnosticar a presença da mesma, sendo o teste proposto por Montgomery e Peck (1981) de fácil execução. Pode-se também optar pela eliminação de variáveis do modelo, visando a reduzir a multicolinearidade.

A análise de trilha proporciona um conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos, e justifica a existência de correlações positivas e negativa, de alta e baixa magnitude, entre os caracteres estudados (SILVA et al., 2005).

Alguns resultados relevantes de pesquisas, utilizando a análise de trilha, estão disponíveis na literatura para a cultura do milho pipoca (MUNDIN et al., 2013), soja (NOGUEIRA et al., 2012), feijão (CABRRAL et al., 2011), entre outros. Nesses estudos tem sido visto que essa análise fornece informações importantes, auxiliando o melhorista na escolha de características que podem ser utilizadas no processo de melhoramento. Para estudos relacionados à EUN na cultura do milho, a análise de trilha não tem sido muito empregada.

### 3 CONCLUSÕES

Os efeitos não aditivos foram mais importantes e estáveis para a eficiência do uso do nitrogênio quando se avaliou a produtividade de grãos.

A classificação das progênes genitoras, assim como das progênes híbridas não foi estável quando se avançou uma geração de autofecundação.

A correlação fenotípica entre o teor de clorofila e a produtividade de grãos foi significativa para o ambiente alto N e não significativa para o ambiente baixo N, indicando que essa característica pode ser utilizada na seleção de genótipos mais responsivos ao N.

O florescimento feminino, para o ambiente baixo N, apresentou efeito direto sobre a produtividade de grãos, o que ressalta a importância de selecionar genótipos com emissão do estilo estigma mais precoce visando ao aumento na produtividade de grãos nesse ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ABE, A. et al. Performance of tropical maize hybrids under conditions of low and optimum levels of nitrogen fertilizer application – grain yield, biomass production and nitrogen accumulation. **Maydica**, Bergamo, v. 58, p. 141-150, 2013.
- AJALA, S. et al. Full-sib vs S<sub>1</sub> selection scheme for the improvement of a maize population for tolerance to low soil nitrogen. **Maydica**, Bergamo, v. 55, p. 239-248, 2010.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 771-777, 2004.
- BLAIR, G. J. Nutrient efficiency: what to we really mean. In: RANDALL, P. J.; DELHAIZE, E.; RICHARD, R. A.; MUNNS, R. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 205-213.
- BLAIR, G. J.; CORDERO, S. The phosphorus efficiency of three annual legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 50, n. 1/2, p. 387-398, Dec. 1978.
- BERTRÁN, F. J. et al. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 807-817, 2003.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.
- CABRAL, P. D. S. et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 2, n. 1, p. 132-138, jan-mar. 2011.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: PATAFÓS, 1993. p. 147-198.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 139-182.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção sob multicolinearidade**. 1995. 163 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 579 p.

DAWSON, J. C.; MURPHY, K. M.; JONES, S. S. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. **Euphytica**, Dordrecht, v. 160, n. 2, p. 143-154, Mar. 2008.

DECHEN, A. R.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Tolerância e adaptação de plantas aos estresses nutricionais. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 183-204.

EI-BADAWY, M. E. M. Heterosis and combining ability in maize using diallel crosses among seven new inbred lines. **Asian Journal of Crop Science**, Berlin, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2013.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; LI, Y. C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, p. 1121-1157, 2008.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, dez. 1982

FAN, X. M. et al. Reciprocal diallel crosses impact combining ability, variance estimation, and heterotic group classification. **Crop Science**, Madison, v. 54, n. 1, p. 89-97, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agricultural data**. Rome, 2005.

FERREIRA, P. A. et al. Tolerância da variedade milho ufvm 100 à salinidade avaliada por três métodos. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 532-544, 2007.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars: I, grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 29, n. 5, p. 897-912, Sept./Oct. 1978.

FRITSCH NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde de Rio Branco: Suprema, 2011. 250 p.

GALLAIS, A.; COQUE, M. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: A synthesis. **Maydica**, Bergamo, v. 50, p. 531-547, 2005.

GAVA, G. J. C. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-uréia. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 851-862, out./dez. 2010.

GOOD, A. G.; SHRAWAT, A. K.; MUENCH, D. G. Can less more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 9, n. 12, p. 597-605, Dec. 2004.

GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 4, p. 462-493, 1956.

GUEDES, F. L. et al. Inheritance of nitrogen use efficiency in inbred progenies of tropical maize based on multivariate diallel analysis. **The Scientific World Journal**. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/894710/>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

GUIMARÃES, R. M. **Fisiologia de sementes**. 81 p. 1999. Monografia (Especialização em Produção e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Lavras, 1999.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Springer: New York, 2010. 663 p.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, Austin, v. 39, p. 789-809, 1954.

HIREL, B. et al. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. **Plant Physiology**, Sofia, v. 125, n. 3, p. 1258-1270, 2001.

HIREL, B. et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, p. 2369-2387, 2007.

KARLEN, D. L.; SADLER, E. J.; CAMP, C. R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. **Agronomy Journal**, Madison, v. 29, p.649-656, 1987.

LI, C. C. The concept of path coefficient and its impact on population genetics. **Biometrics**, Washington, v. 12, p. 190-210, 1956.

MAATHUIS, F. Physiological functions of mineral nutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 12, p. 250-258, 2009.

MACHADO, A. T. et al. Nitrate reductase and glutamine synthetase activities in S<sub>1</sub> endogamic families of the maize populations Sol da Manhã and Catetão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 88-102, 2001.

MAHGOUB, G. M.A. Partitioning of general and specific combining ability effects for estimating maternal and reciprocal effects. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. p213, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. San Diego: Academic, 1995. 889 p.

MAJEROWICZ, N. et al. Estudo da deficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, 2002.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-64, May/June 1982.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.



MUNDIN, G. B. et al. Genetic diversity and path analysis for nitrogen use efficiency in popcorn inbred lines. **Euphytica**, Madison, v. 191, p. 291-299, 2013.

NOGUEIRA, A. P. O. Et al. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 877-888, nov./dez. 2012.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na agropecuária**. 5. ed. rev. Lavras: UFLA, 2012. 566 p.

SILVA, S. A. et al. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 191-196, 2005.

SINGH, S. P. Drought resistance in the race durango dry bean landraces and cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 6, p. 1219-1225, Nov./Dec. 2007.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: J. Willey, 1986. 380 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, p. 671-677, 2002.

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

YAO, W. H. et al. Diallel analysis models: a comparison of certain genetic statistics. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 4, p. 1481-1490, 2013.

ZHANG, Y. et al. DIALLEL-SAS05. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1097-1106, 2005

ZHU, Z. Loss of fertilizer N from the plant-soil system and the strategies and techniques for its reduction in China. **Soil Environmental Science**, Local, v. 9, p. 1-6, 2000.

WEIH, M.; ASPLUND, L.; BERGKVIST, G. Assessment of nutrient use in annual e perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. **Plant and Soil**, The Hague, v. 339, p. 513-520, 2011.

WIETHÖLTER, S. **Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 44 p.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**CONTROLE GENÉTICO DA EFICIÊNCIA DO USO DO  
NITROGÊNIO EM PROGÊNIES PARCIALMENTE  
ENDOGÂMICAS DE MILHO TROPICAL**

**ARTIGO 1 Controle genético da eficiência do uso do nitrogênio em  
progênes parcialmente endogâmicas de milho tropical**

Genetic control of nitrogen use efficiency of non-inbred lines in tropical maize

**Resumo** – O objetivo neste trabalho foi estudar o controle genético e caracterizar progênes  $S_{0.2}$  em relação à eficiência do uso do nitrogênio. Quatro progênes previamente classificadas quanto à responsividade e tolerância ao nitrogênio foram cruzadas no esquema de dialelo completo, obtendo os híbridos  $F_1$ 's e os recíprocos. Os genitores, as combinações híbridas e mais quatro testemunhas foram avaliadas em dois experimentos com diferentes disponibilidades de nitrogênio no solo, baixa e alta, sob o delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições. As características avaliadas foram: teor de clorofila nas folhas, florescimento masculino e feminino, diâmetro do colmo, altura da planta, altura da primeira espiga, sanidade, *stay-green*, prolificidade e produtividade de grãos. Foram realizadas análises de variâncias individuais para cada experimento, e posteriormente foi realizada a análise conjunta. Também foi realizada a análise dialélica por meio do método 1 de Griffing. Os efeitos não aditivos foram mais importantes e estáveis para a eficiência do uso do nitrogênio quando se avaliou a produtividade de grãos. A classificação das progênes híbridas não foi estável quando se avançou uma geração de autofecundação.

Palavras-chave: *Zea mays* L., análises dialélicas, efeitos aditivos e não aditivos.

**Abstract** - This research aimed to study the genetic control and characterize  $S_{0,2}$  progenies regarding the nitrogen use efficiency. Four progenies previously classified as responsiveness and tolerance to nitrogen were crossed in complete diallel scheme, obtaining the  $F_1$ 's hybrids and reciprocals crosses. The progenies, the hybrids and four controls were set up in two experiments with different nitrogen availability in the soil, low and high, in a randomized complete block design with three replications. The characteristics evaluated were: the leaves chlorophyll content, male and female flowering, stem diameter, plant height, first ear height, plant healthy, stay-green, prolificacy and grain yield. Analyzes of variances were carried out for each experiment, and the joint analysis was subsequently performed. The diallel analysis for grain yield was carried out by using Griffing's method 1. The non-additives effects were more important and stable for the nitrogen use efficiency when assessing grain yield. The classification of hybrid progenies was not stable when it advanced a generation of self-pollination.

Keywords: *Zea mays* L., diallel analysis, additive and non-additive effects.

## 1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é de crucial importância para o desenvolvimento das plantas, sendo constituinte de diversas moléculas, além de atuar diretamente em processos fisiológicos e bioquímicos. É o nutriente mais absorvido pelas plantas de milho, sendo também responsável pelo aumento de produtividade das mesmas (CIAMPITTI; VYN, 2012; DUVICK, 2005).

Embora seja absorvido em maior quantidade, a eficiência de absorção do N por plantas de milho é baixa (GAVA et al., 2010), por conseguinte, o nitrogênio aplicado no solo é perdido por processos de lixiviação, entre outros. Assim, eleva-se o custo de produção, além de provocar problemas ambientais. Dentre as diversas alternativas para minimizar esses problemas, o uso de plantas eficientes quanto à utilização do N pode ser relevante, visto que se pode diminuir a dose aplicada no solo, mantendo patamares satisfatórios de produtividade.

Para o estudo da eficiência do uso do nitrogênio (EUN) a elucidação do controle genético é de fundamental importância, visto que o melhorista pode escolher o método mais adequado para a seleção de genótipos nas diferentes condições de suplementação de N (AJALA et al., 2010; GUEDES et al., 2014). Quando o caráter é controlado por genes com efeitos aditivos, a seleção de genótipos pode ser realizada por meio do desempenho *per se* das progênies. Todavia, quando efeitos de dominância são mais importantes do que os efeitos aditivos, a seleção dos genótipos deve ser realizada em função do desempenho de combinações híbridas oriundas das progênies avaliadas. Outro fator que deve ser levado em consideração para o estudo da EUN é quais caracteres devem ser mensurados para melhor definir esse caráter, de modo que a seleção de genótipos seja realizada com maior acurácia.

A caracterização e seleção de genótipos com maior EUN é baseada principalmente na produtividade de grãos (GUEDES et al., 2014). Sabe-se que essa é expressa em função da ação conjunta de muitos caracteres, sendo considerado um caráter complexo. Desse modo, a mensuração de outras características relacionadas com produtividade de grãos pode auxiliar na caracterização de genótipos com maior EUN de forma mais acurada. Diversas características morfológicas têm sido avaliadas, como teor de clorofila da folha da espiga, altura de planta e velocidade de senescência, assim como características bioquímicas, por meio da expressão de enzimas relacionadas ao metabolismo do nitrogênio. Entretanto, os resultados disponíveis na literatura são contraditórios, não sendo confiáveis para a comparação dos mesmos entre as diferentes populações. Com isso, a EUN deve ser estudada em cada população dos programas de melhoramento (FRITSCHÉ NETO; BORÉM, 2011).

O programa de melhoramento genético do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras tem pesquisado e caracterizado a EUN nas populações pertencentes ao programa (GUEDES et al., 2011, 2014, 2015). Contudo, maiores informações são necessárias para melhorar a acurácia da caracterização e seleção dos genótipos. Diante do exposto, com a presente pesquisa objetivou-se elucidar o controle genético assim como caracterizar progênies  $S_{0,2}$  em relação à EUN.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (DBI/UFLA), situada no município de Lavras-MG, com altitude de 918 m, coordenadas 21° 14' S e 45° 00' W. O clima predominante é o Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Koppen.

Os genótipos utilizados foram obtidos a partir de um cruzamento no esquema de dialelo completo entre quatro progênies  $S_{0:2}$  contrastantes quanto ao uso do N. As progênies de número 3 e 11 foram previamente classificadas como responsivas e tolerantes (RT), as progênies 8 e 9 foram classificadas como não responsivas e não tolerantes ( $R_nT_n$ ) (GUEDES et al., 2011). Foram obtidas seis combinações híbridas e mais os recíprocos, totalizando em doze progênies híbridas.

As doze progênies híbridas  $S_{0:2}$ , mais as quatro progênies  $S_{0:2}$  e quatro testemunhas, sendo dois híbridos comerciais e duas linhagens oriundas do programa de melhoramento genético de milho do DBI/UFLA, foram avaliadas em dois experimentos com níveis contrastantes quanto à adubação nitrogenada, sob delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições.

Antes da semeadura, amostras da área experimental foram coletadas. Os resultados das propriedades químicas do solo, para a profundidade de 0-20 cm, estão representados na Tabela 1. A semeadura foi realizada no solo sob sistema de plantio direto na safra de verão no ano de 2011/2012. As parcelas foram constituídas de duas linhas de três metros de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,60 m e de 0,25 m entre plantas, correspondendo a um estande de, aproximadamente, 66.667 plantas  $ha^{-1}$ .

Para a diferenciação dos níveis de nitrogênio, no ambiente com baixa disponibilidade de N no solo (baixo N) foram aplicados na semeadura 350 kg  $ha^{-1}$  da formulação 08-28-16 (N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ), correspondendo a 28 kg de N  $ha^{-1}$ . No ambiente com alta disponibilidade de N (alto N), além da adubação de plantio mencionada anteriormente, foram realizadas duas adubações de cobertura com ureia (45-00-00) nos estádios V4 e V6, totalizando em 208 kg de N  $ha^{-1}$ . Os demais tratos culturais foram os mesmos recomendados para o sistema de cultivo do milho na região sul de Minas Gerais.



As características avaliadas foram: teor de clorofila nas folhas de plantas no estágio de 8-10 folhas (ARGENTA et al., 2001); florescimento masculino e feminino, contabilizados em graus dias (SILVA, 2001); diâmetro do colmo; altura da planta; altura da primeira espiga; sanidade (AGROCERES, 1996); *stay-green* (COSTA et al., 2008); prolificidade; produtividade de grãos.

**Tabela 1** Resultados analíticos das propriedades químicas do solo coletado nas áreas destinadas à implementação dos experimentos relacionados à eficiência do uso do nitrogênio

pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
---	--mg/dm <sup>3</sup> -					-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						-----%---	dag/kg mg/L
5,6	184	93,0	2,3	0,6	0,1	5,0	3,3	3,4	8,4	40,0	2,8	3,5	7,4

Após a obtenção dos dados foram realizadas análises preliminares para a verificação das pressuposições para realizar as análises de variância. Diante do atendimento dos pressupostos os dados foram submetidos às análises individuais para cada ambiente, para cada característica. Em seguida foi verificada a homogeneidade das variâncias residuais, para posteriormente realizar a análise conjunta, considerando os dois ambientes com diferentes níveis de N. A soma de quadrados dos genótipos foi decomposta nos efeitos de pais,  $F_1$ 's, recíprocos e testemunhas, além do contraste entre alguns desses componentes. Todas as análises descritas acima foram realizadas por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014). A acurácia seletiva foi estimada para cada característica, em cada ambiente e considerando os dois ambientes juntos, por meio da expressão:  $\hat{r}_{gg} = (1 - \frac{1}{F})^{1/2}$ , em que F é o valor da estatística F-Snedecor para efeito de genótipos.

As análises dialélicas individuais e conjunta para a característica produtividade de grãos, foram realizadas considerando o método 1 de Griffing (1956), considerando os pais,  $F_1$ 's e recíprocos, e o modelo como fixo. O modelo das análises dialélicas individuais foi representado por:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + S_{ij} + r_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

E o modelo da análise dialélica conjunta por,

$$Y_{ijk} = m + g_i + g_j + S_{ij} + r_{ij} + a_k + ga_{ik} + ga_{jk} + aS_{ijk} + ra_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:  $Y_{ijk}$  é o valor médio da progênie híbrida  $ij$ ;  $m$  é a constante inerente às observações;  $g_i$  e  $g_j$  os efeitos da capacidade geral de combinação dos pais de ordem  $i$  e  $j$ , respectivamente;  $S_{ij}$  os efeitos da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os pais de ordem  $i$  e  $j$ ;  $r_{ij}$  é o efeito recíproco que mede as diferenças proporcionadas pela progênie  $i$  ou  $j$ , quando utilizada como macho ou fêmea no cruzamento  $ij$ ;  $a_k$ , o efeito do ambiente  $k$ ;  $ga_{ik}$  e  $ga_{jk}$ , os efeitos da interação entre a capacidade geral de combinação dos pais de ordem  $i$  e  $j$ , respectivamente, com os ambientes  $k$ ;  $aS_{ijk}$  é o efeito da interação entre a capacidade específica de combinação entre os pais  $i$  e  $j$  e o ambiente  $k$ ;  $ra_{ijk}$  é a interação entre o efeito recíproco e o ambiente  $k$ ;  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro experimental médio. O grau médio de dominância (GMD) foi estimado por meio da expressão  $GMD = [2k^2_{CGC} / (2k^2_{CGC} + k^2_{CEC})]$ , conforme descrito por Baker (1978), na qual  $2k^2_{CGC}$  é a forma quadrática (análoga aos componentes de variância, mas referindo ao efeito fixo) derivada do efeito do quadrado médio da CGC;  $k^2_{CEC}$  é a forma quadrática dos efeitos da CEC. Os valores dessa relação próximos à unidade sugerem que o efeito da CEC não é importante e que o desempenho dos híbridos pode ser predito baseado na média dos valores da CGC dos pais (BAKER, 1978).

As análises dialéticas foram realizadas utilizando-se o Aplicativo Computacional em Genética e Estatística – Programa GENES (CRUZ, 2013).

### 3 RESULTADOS

A precisão experimental das análises de variâncias individuais e conjuntas, obtida por meio da acurácia seletiva foi de alta magnitude. Todos os valores foram acima de 86%, exceto para o caráter prolificidade, com valor de 66% (Tabela 2 e 3). De acordo com Resende e Duarte (2007) valores acima de 90% evidenciam precisão experimental muito alta. É válido ressaltar que para a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos com maior confiabilidade, a precisão com que os experimentos são conduzidos é de fundamental importância.

#### **Desempenho médio dos genótipos para as características avaliadas**

Por meio dos resultados da análise conjunta foi observado que houve significância para a fonte de variação “Ambientes” para as características altura de espigas e de plantas, *stay-green*, florescimento feminino e teor de clorofila (dados não mostrados). Isso evidencia que as médias das características nos ambientes foram influenciadas pela disponibilidade de nitrogênio no solo.

Para a altura de espigas as médias foram de 103,52 cm (alto N) e 99,63 cm (baixo N); para a altura de plantas as médias no ambiente alto N foi de 197,89 cm e para o baixo N de 193,15 cm; já para o caráter *stay-green*, no ambiente com alta disponibilidade de N a média foi de 2,01 e para o ambiente com baixa disponibilidade de N a média foi de 2,51; as médias para o florescimento feminino foram de 916,15 graus-dias (alto N) e de 923,04 graus-dias (baixo N); e para o teor de clorofila as leituras médias por meio do SPAD-

502 foram de 56,29 para o ambiente com alta disponibilidade de N e de 49,36 para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio (Tabela 2).

As médias provenientes da análise conjunta das diferentes características avaliadas, as quais não foram significativas para efeito de “Ambientes” estão representadas na Tabela 3. Para o diâmetro do colmo, o híbrido GNZ9501 e as progênies híbridas 11x3, 3x11, 8x11, 8x3 e 9x11, apresentaram maiores valores médios acima de 22,9 mm. Com relação à sanidade das plantas, o híbrido GNZ9501 e as progênies híbridas 3x8, 8x9, 9x8 e a linhagem DBI10 apresentaram menor suscetibilidade a doenças, conforme visto pelas notas médias de baixas magnitudes, variando de 3,8 a 4,5.

**Tabela 2** Médias das características altura de espiga (AE), altura de plantas (AP), stay-green (SG), florescimento feminino (FFEM) e teor de clorofila (TC) avaliadas nos ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo

Genótipos	Baixo N					Alto N				
	AE	AP	SG	FFEM	TC	AE	AP	SG	FFEM	TC
(11x3)	105,6 b	201,6 c	2,0 d	891,3 e	47,8 b	95,0 d	194,3 e	1,3 e	895,4 e	59,2 a
(11x8)	97,3 c	199,6 c	2,0 d	908,9 d	48,7 b	107,3 c	213,0 c	1,3 e	886,9 e	56,3 b
(11x9)	116,3 a	216,0 b	2,0 d	886,9 e	47,7 b	113,3 b	211,0 d	1,6 e	859,4 f	57,2 b
(3x11)	106,6 b	207,0 c	2,0 d	886,9 e	49,2 b	108,0 c	206,6 d	1,6 e	886,9 e	58,3 a
(3x8)	92,6 c	180,3 d	1,3 d	946,9 b	51,3 b	98,3 c	188,0 e	1,0 e	922,2 d	58,7 a
(3x9)	108,0 b	203,3 c	2,0 d	886,9 e	49,1 b	108,3 c	206,3 d	1,3 e	882,7 e	58,5 a
(8x11)	102, c	205,0 c	1,6 d	908,4 d	49,8 b	113,3 b	210,6 d	2,6 d	895,4 e	59,3 a
(8x3)	97,3 c	187,0 d	2,0 d	930,8 c	49,7 b	100,6 c	191,6 e	1,3 e	921,7 d	59,7 a
(8x9)	114,3 a	214,3 b	1,6 d	908,7 d	51,2 b	108,6 c	208,0 d	1,0 e	904,0 d	61,2 a
(9x11)	116,3 a	217,6 b	2,0 d	882,7 e	50,2 b	121,0 a	217,3 c	1,6 e	878,3 e	57,4 b
(9x3)	106,0 b	197,3 c	3,0 c	871,1 e	49,9 b	103,6 c	193,3 e	2,0 d	878,3 e	59,3 a
(9x8)	109,0 b	200,6 c	2,0 c	921,3 c	49,3 b	120,3 a	217,3 c	1,0 e	917,5 d	60,8 a
DBI10	70,3 f	143,0 g	4,6 a	930,2 c	52,5 b	77,3 f	153,3 g	2,3 d	943,1 c	41,1 f
DBI11	95,6 c	175,0 e	5,0 a	968,5 a	61,7 a	103,3 c	194,0 e	5,0 a	968,5 b	49,7 d

Tabela 2, cont.

Genótipos	Baixo N					Alto N				
	AE	AP	SG	FFEM	TC	AE	AP	SG	FFEM	TC
<b>GNZ9501</b>	116,3 a	229,0 a	2,0 d	922,2 c	49,1 b	118,3 a	235,0 a	1,0 e	922,2 d	61,6 a
<b>L3</b>	94,0 c	190,6 d	2,6 c	977,9 a	38,2 e	93,6 d	194,6 e	2,3 d	1016,4 a	46,0 e
<b>L8</b>	80,0 e	159,0 f	2,0 d	982,8 a	45,8 c	87,0 e	166,6 f	2,6 d	965,4 b	49,6 d
<b>L9</b>	62,3 g	128,6 h	4,3 b	978,3 a	48,7 b	66,2 g	133,1 h	3,6 c	946,9 c	57,2 b
<b>L11</b>	88,6 d	183,3 d	4,0 b	982,5 a	42,7 d	103,6 c	195,0 e	4,3 b	963,9 b	53,3 c
<b>Média</b>	99,63	193,15	2,51	923,04	49,36	103,52	197,89	2,01	916,15	56,29
$\hat{r}_{gg}$	0,95	0,98	0,94	0,96	0,86	0,95	0,98	0,93	0,96	0,96

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade;  $\hat{r}_{gg}$  – acurácia seletiva.

Não foi observada significância da prolificidade, de modo que os genótipos não diferiram entre si para esse caráter (Tabela 3).

**Tabela 3** Médias das características diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS) e produtividade de grãos (PG), provenientes da análise conjunta dos ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo

<b>Genótipos</b>	<b>DC</b>	<b>SAN</b>	<b>PROL</b>	<b>FMAS</b>	<b>PG</b>
<b>(11x3)</b>	23,1 a	6,1 b	1,16 a	893,4 d	11672,7 c
<b>(11x8)</b>	21,5 b	5,6 b	1,16 a	902,1 d	12395,4 b
<b>(11x9)</b>	21,6 b	5,6 b	1,16 a	876,8 e	11972,3 c
<b>(3x11)</b>	23,6 a	5,6 b	1,07 a	889,1 d	11155,4 c
<b>(3x8)</b>	22,3 b	4,5 d	1,10 a	925,9 c	10969,1 c
<b>(3x9)</b>	22,3 b	5,3 c	1,07 a	887,0 d	12547,1 b
<b>(8x11)</b>	23,3 a	6,1 b	1,18 a	901,8 d	12617,5 b
<b>(8x3)</b>	22,9 a	5,0 c	1,04 a	930,9 c	9629,2 d
<b>(8x9)</b>	22,0 b	3,8 d	1,11 a	906,4 d	13327,8 b
<b>(9x11)</b>	23,0 a	6,5 b	1,13 a	872,5 e	11490,3 c
<b>(9x3)</b>	22,4 b	5,3 c	1,11 a	863,8 e	11994,7 c
<b>(9x8)</b>	22,0 b	4,5 d	1,12 a	915,0 c	12765,0 b
<b>DBI10</b>	19,9 c	4,1 d	1,19 a	942,4 b	5160,1 e
<b>DBI11</b>	21,3 b	6,5 b	1,02 a	940,9 b	5908,4 e
<b>DKB177</b>	22,5 b	5,0 c	1,34 a	895,4 d	14812,3 a
<b>GNZ9501</b>	23,2 a	4,1 d	1,21 a	926,5 c	13781,9 a
<b>L3</b>	20,8 c	6,1 b	1,03 a	944,4 b	5950,7 e
<b>L8</b>	18,5 d	5,3 c	1,18 a	932,3 c	6736,6 e
<b>L9</b>	19,9 c	6,5 b	1,08 a	946,9 b	6532,5 e
<b>L11</b>	19,1 d	7,5 a	0,98 a	975,8 a	5816,8 e
<b>Média</b>	21,81	5,48	1,12	913,51	10.361,83
<b><math>\hat{r}_{\hat{g}g}</math></b>	0,94	0,95	0,66	0,97	0,98

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.

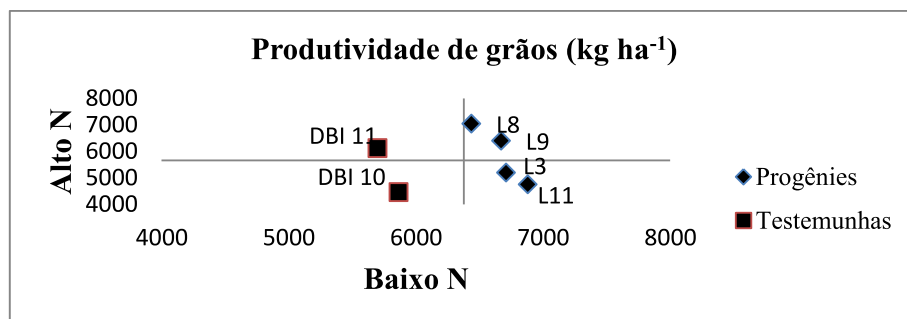
A progênie L11 precisou de um maior somatório de graus-dia para atingir a fase de florescimento masculino, em média de 975,8 graus-dia (Tabela 3). Já as progênies híbridas 11x9, 9x11 e 9x3 necessitaram de menores médias para atingir a antese. Maiores médias de produtividade de grãos foram observadas para os híbridos comerciais DKB177 e GNZ9501, com valores de 14.812,3 e 13.781,9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As linhagens DBI10 e DBI11, assim como as progênies L3, L8, L9 e L11 apresentaram as menores médias para a produtividade de grãos.

#### **Comportamento das progênies *per se* e em combinações híbridas**

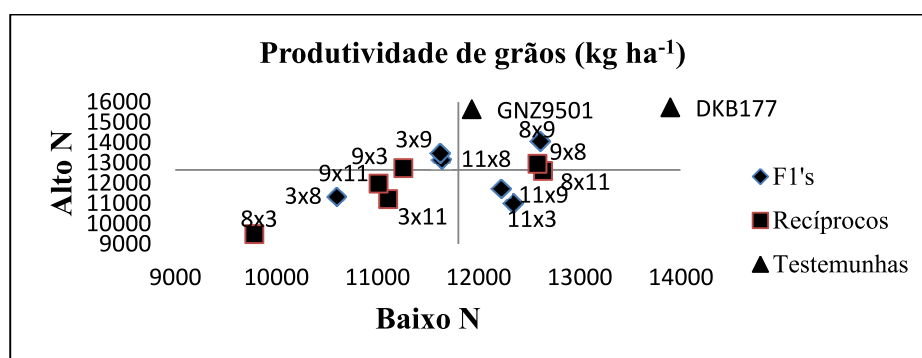
Para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio as quatro progênies apresentaram médias para a produtividade de grãos superiores à média geral do ambiente, contudo as linhagens utilizadas como testemunhas apresentaram desempenho inferior à média geral desse ambiente (Figura 1). Já para o ambiente com alta disponibilidade de N as progênies de número 8 e 9, mais a linhagem DBI11 tiveram as médias de produtividade de grãos acima da média do ambiente. Desse modo, pode-se classificar as progênies 3 e 11 como não responsivas e tolerantes (R<sub>n</sub>T) à adubação nitrogenada. Já as progênies 8 e 9 podem ser classificadas como responsivas e tolerantes (RT); a linhagem DBI11 foi não tolerante, mas responsiva (RT<sub>n</sub>) ao aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo e a linhagem DBI10 foi classificada como não responsiva e não tolerante (R<sub>n</sub>T<sub>n</sub>) à adubação nitrogenada.

As progênies híbridas 8x9 e 9x8 foram classificadas como responsivas e tolerantes à adubação nitrogenada (Figura 2). Já as progênies híbridas 3x8, 3x11, 8x3 e 9x11 foram classificadas como não responsivas e não tolerantes.





**Figura 1** Desempenho médio de progênes  $S_{0.2}$  e linhagens de milho com relação à produtividade de grãos em ambientes com baixa (Baixo N) e alta (Alto N) disponibilidade de nitrogênio no solo



**Figura 2** Desempenho médio de progênes híbridas  $F_1$ 's, cruzamentos recíprocos e dois híbridos comerciais com relação à produtividade de grãos em ambientes com baixa (Baixo N) e alta (Alto N) disponibilidade de nitrogênio no solo

A classificação das progênies *per se* e das progênies híbridas utilizadas na presente pesquisa, todavia, em diferentes gerações, foram reportadas em trabalhos anteriores. Observa-se que para as progênies L3 e L11 ( $R_nT$ ) a classificação com relação à responsividade foi diferente da classificação observada nos trabalhos anteriores (Tabela 4). Contudo, a classificação como tolerante permaneceu inalterada. Já para as progênies L8 e L9 (RT) houve uma drástica inversão em ambas as classificações, quanto à responsividade e tolerância.

Para as progênies híbridas é esperado que o cruzamento entre duas progênies RT, a descendência fosse RT. O cruzamento entre RT e  $R_nT_n$  obteria uma descendência  $R_nT$  ou  $RT_n$ . Já o cruzamento entre duas progênies  $R_nT_n$ , a descendência seria de progênies híbridas  $R_nT_n$ .

**Tabela 4** Classificação de progênies e de progênies híbridas ao longo de duas gerações de autofecundação, de acordo com a produtividade de grãos, avaliadas em ambientes com diferentes níveis de adubação nitrogenada

	Guedes et al. (2011)		Guedes et al. (2015)		Progênies S <sub>0:2</sub>	
	Top Cross	<i>Per se</i>	Progênies (S <sub>0:2</sub> )		Progênies S <sub>0:2</sub>	
			Esperado	Observado	Esperado	Observado
L3	RT	RT	RT	RT	RT	R <sub>n</sub> T
L8	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT
L9	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT
L11	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT	RT	R <sub>n</sub> T
			Híbridos (S <sub>0:1</sub> )		Híbridos (S <sub>0:2</sub> )	
(3x8)	-	-	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>
(8x3)	-	-	NC	NC	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>
(3x9)	-	-	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	RT	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	RT <sub>n</sub>
(9x3)	-	-	NC	NC	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	RT <sub>n</sub>
(3x11)	-	-	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	RT	RT	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>
(11x3)	-	-	NC	NC	RT	RT <sub>n</sub>
(8x9)	-	-	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT
(9x8)	-	-	NC	NC	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT
(8x11)	-	-	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	RT
(11x8)	-	-	NC	NC	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	RT <sub>n</sub>
(9x11)	-	-	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>	RT	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T <sub>n</sub>
(11x9)	-	-	NC	NC	R <sub>n</sub> T/RT <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> T

\* RT – responsiva e tolerante; RnT – não responsiva e tolerante; RTn – responsiva e não tolerante; RnTn - não responsiva e não tolerante; NC – não classificado

### **Capacidade de Combinação e Efeitos Gênicos**

Para as análises individuais em cada ambiente foi observado que somente o efeito da CEC foi significativo (Tabela 5). O mesmo foi observado para a análise dialélica conjunta, na qual somente o efeito da CEC foi significativo. As demais fontes de variação como CGC, ambientes, assim como as interações da CGC, CEC e efeito recíproco com os ambientes não foram significativos.

As magnitudes das estimativas da CGC das progênies variaram para cada ambiente (Tabela 6). A progênie 3 apresentou valores negativos da CGC nos dois ambientes, variando de -366,24 para o de baixo N e -612,99 no alto N. O contrário foi observado da progênie 9 que apresentou valores positivos de 199,31 e 644,60 para ambos os ambientes. Já as progênies de número 9 e 11 apresentaram comportamento diferente, valores positivos e negativos, dependendo do nível de disponibilidade de nitrogênio no solo. Na análise conjunta as progênies 3 e 11 apresentaram valores negativos para a CGC enquanto que as progênies 8 e 9 valores positivos (Tabela 6).

Analisando as magnitudes da CEC na análise conjunta, os cruzamentos utilizando as progênies 3 e 8 como genitores masculinos e a progênie 9 como feminino apresentaram maiores magnitudes desse parâmetro, com valores de 1.865,26 e 1.977,25 para os cruzamentos 3x9 e 8x9, respectivamente (Tabela 6). Já quando a progênie 11 foi utilizada como doador de pólen nos cruzamentos com as progênies 3 e 8, altas magnitudes foram observadas, com valores de 1.536,51 e 1.968,48 para os cruzamentos 11x3 e 11x8, respectivamente.

O efeito recíproco não foi significativo nas análises individuais e nem na análise conjunta (Tabela 5). Também não foi observada interação desse efeito com o ambiente.

**Tabela 5** Quadrados médios da capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) e dos efeitos recíprocos (Recíproco) para a produtividade de grãos nos ambientes com baixo nível de N (Baixo N) e alta disponibilidade de N (Alto N)

FV	GL	Q.M.		
		Baixo N	Alto N	Conjunta
<b>Genótipos (Gen)</b>	(15)	16.487.698,79**	27.992.338,41**	42.432.115,08
CGC	3	1.751.661,07	8.956.563,23	7.348.298,69
CEC	6	39.139.551,79**	64.087.847,88**	100.922.986,24**
<b>Recíproco (Rec)</b>	6	1.203.864,64	1.414.716,53	1.483.152,11
<b>Ambientes (Amb)</b>	1	-	-	802.422,17
<b>Gen x Amb</b>	(15)	-	-	2.047.922,12
CGC x Amb	3	-	-	3.359.925,61
CEC x Amb	6	-	-	2.304.413,43
Rec x Amb	6	-	-	1.135.429,06
<b>Erro Individual</b>	38	822.749,50	2.940.306,30	-
<b>Erro Conjunta</b>	76	-	-	1.881.528,00
GMD ([2k <sup>2</sup> <sub>CGC</sub> /(2k <sup>2</sup> <sub>CGC</sub> + k <sup>2</sup> <sub>CEC</sub> )]		0,005	0,022	0,0135

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; GMD – grau médio de dominância

A magnitude de grau médio de dominância variou de 0,005, para o ambiente com baixa disponibilidade de N a 0,022 para o ambiente com alta disponibilidade de N. Para a análise conjunta o valor do grau médio de dominância foi de 0,0135.

**Tabela 6** Estimativas dos efeitos da capacidade específica geral de combinação das 4 progênes híbridas (na diagonal), da capacidade específica de combinação de 6 combinações híbridas (abaixo da diagonal), e seus recíprocos (acima da diagonal), para as progênes híbridas sintetizadas a partir do cruzamento dialélico de quatro progênes, para a produtividade de grãos, no nível com baixa (Baixo N) e alta disponibilidade de nitrogênio (Alto N) e na análise conjunta dos dois níveis

		<b>Baixo N</b>			
♂ \ ♀*		L3	L8	L9	L11
L3		<b>-366,24</b>	217,08	1.223,81	617,20
L8		408,61	<b>-41,35</b>	2.057,04	-504,19
L9		179,91	11,94	<b>199,31</b>	607,64
L11		1.499,64	1.587,93	829,94	<b>208,29</b>
		<b>Alto N</b>			
♂ \ ♀		L3	L8	L9	L11
L3		<b>-612,99</b>	66,17	2.506,70	-99,96
L8		931,21	<b>389,04</b>	1.897,46	282,07
L9		372,50	550,87	<b>644,60</b>	-125,61
L11		1.573,38	2.343,03	1.054,42	<b>-420,64</b>
		<b>Conjunta</b>			
♂ \ ♀		L3	L8	L9	L11
L3		<b>-489,62</b>	141,62	1.865,26	258,61
L8		669,91	<b>173,84</b>	1.977,25	-111,06
L9		276,20	281,40	<b>421,95</b>	241,01
L11		1.536,51	1.968,48	942,18	<b>-106,17</b>

\* ♂ - genitor utilizado como doador de pólen no cruzamento; ♀ - genitor utilizado com receber do pólen no cruzamento

#### 4 DISCUSSÃO

Para estudos relacionados à EUN, o manejo do estresse é de fundamental importância para explorar a variabilidade genética existente dentro os genótipos avaliados. Em ambientes com baixa disponibilidade de N no solo, se o estresse induzido for muito acentuado, a variabilidade genética não é detectada, tornando a seleção impraticável (FRITSCH NETO; BORÉM, 2011). De acordo com Godoy et al. (2013), a quantidade de 30 kg N ha<sup>-1</sup> pode induzir o estresse causado por esse nutriente.

A acurácia seletiva é um importante parâmetro que tem sido utilizado por melhoristas de plantas para mensurar a precisão experimental, em função de esse parâmetro referir-se à correlação entre o valor genético real do genótipo avaliado e o valor predito por meio da experimentação. Por conseguinte, quanto menores os desvios absolutos entre os valores genéticos reais e preditos, maior será a acurácia seletiva. Para as análises individual e conjunta todas as estimativas foram acima de 86%, exceto para o caráter prolificidade. Com isso, pode-se inferir que os valores genéticos dos genótipos avaliados na presente pesquisa foram próximos dos valores genotípicos reais dos mesmos. As mesmas progênes híbridas foram avaliadas na geração S<sub>0:1</sub> (GUEDES et al., 2014). As estimativas da acurácia seletiva apresentadas pelo autor supracitado, para a produtividade de grãos em ambientes com alta e baixa disponibilidade de nitrogênio foram acima de 82%.

O nitrogênio atua diretamente sobre processos fisiológicos das plantas, estando relacionado ao desenvolvimento das mesmas. Por conseguinte, a redução na altura de espigas e de plantas é esperada em ambientes com baixa disponibilidade de N, quando comparado com plantas desenvolvidas em condições normais de suplementação desse nutriente. A deficiência de nitrogênio inibe o crescimento vegetal, pois ele é constituinte de muitos

componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Resultados semelhantes foram reportados na literatura (ABE et al., 2013; AJALA et al., 2010).

A altura de espigas é importante para o sistema produtivo do milho atualmente, visto que com o uso de colhedouras, as espigas têm que apresentar uma altura ideal para que não haja perdas. Nesse sentido, três progênies híbridas se destacaram por apresentarem altura de espiga média igual à das testemunhas comerciais (baixo N) e duas no ambiente alto N. Por outro lado, a planta muito alta, principalmente em regiões com alto índice de ventos fortes, tende a acamar ou quebrar, conseqüentemente, a colheita dessas plantas é dificultada ou não realizada por máquinas, o que leva ao aumento das perdas, podendo trazer prejuízos aos produtores. Os dois híbridos utilizados como testemunhas apresentaram maiores médias, porém, quatro progênies híbridas apresentaram altura de plantas satisfatórias no ambiente baixo N e duas no alto N.

O *stay-green* em vegetais pode estar relacionado à resistência a estresses bióticos e abióticos, à redução no acamamento de plantas, tolerância ao maior adensamento e tem sido relacionado, também, ao aumento da produtividade de grãos direta e indiretamente (JIANG et al., 2004). Isso porque plantas com essa característica mais pronunciada apresentam folhas e colmos verdes após o enchimento de grãos, por conseguinte, a fotossíntese continua eficiente, produzindo fotoassimilados e distribuindo-os para as raízes e colmo (LEE; TOLLENAAR, 2007). Por outro lado, a senescência ocorre devido à redução na clorofila e com conseqüente declínio na capacidade fotossintética. Assim, a senescência prematura das folhas pode afetar consideravelmente a produtividade de grãos dos cereais (JIANG et al., 2004). Em função de o nitrogênio estar diretamente relacionado ao teor de clorofila em plantas, no ambiente com baixa disponibilidade desse nutriente é esperado que as plantas apresentassem



senescência precoce das folhas. Por meio de nossos resultados foi visto que a média dos genótipos avaliados para o *stay-green* foi menor no ambiente baixo N quando comparado com as médias dos mesmos genótipos desenvolvidos no ambiente com alta disponibilidade de N. Para esse caráter a contribuição dos efeitos gênicos aditivos é maior que a dos efeitos gênicos não aditivos na expressão fenotípica (COSTA et al., 2008), por conseguinte, a avaliação do desempenho *per se* deve ser realizada ao invés da avaliação por meio de cruzamentos. Desse modo, as progênes L3 e L11 deveriam ser utilizadas nos cruzamentos por apresentarem senescência foliar mais tardia.

A clorofila é uma estrutura fotossintetizadora presente nos cloroplastos, a qual é responsável pela captura da luz usada na fotossíntese. Ela é essencial para a conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP e NADPH. O teor de clorofila em plantas de milho está correlacionado diretamente com o teor de N na planta (ARGENTA et al., 2001). No presente trabalho foi verificado que no ambiente de alto N o teor de clorofila nas folhas foi superior ao ambiente de baixo N. Resultados semelhantes foram reportados por Abe et al. (2013).

A emissão do estilo estigma foi retardada no ambiente com baixa disponibilidade de N, quando comparado com o ambiente com alto N. Resultado semelhante foi reportado por Abe et al. (2013) quando os autores avaliaram híbridos de milho. Entretanto, em ambiente com baixa disponibilidade de N, progênes S<sub>1</sub> atingiram a fase de florescimento feminino, em média com 64 dias após o plantio, todavia, em ambiente com alta disponibilidade de N, as mesmas progênes emitiram o estilo estigma, em média, com 65 dias após o plantio (AJALA et al., 2010).

Para as outras características não foi observada a influência da disponibilidade de nitrogênio sobre a média das mesmas. Todavia, por meio da análise conjunta a fonte de variação Genótipos/Tipos foi significativa para todas

as características (dados não apresentados). Dessa forma pode-se inferir que na média dos ambientes o comportamento dos pais,  $F_1$ 's, recíprocos e testemunhas foram diferentes entre si.

O colmo é uma das estruturas da planta de milho que armazena fotoassimilados durante a fase vegetativa, os quais durante a fase de enchimento de grãos são remobilizados para a espiga, podendo contribuir com até 62% dos fotoassimilados (COQUE; GALLAIS, 2007). Plantas que apresentam maior diâmetro do colmo tendem a armazenar maiores concentrações de fotoassimilados, os quais podem ser remobilizados para a espiga, por conseguinte, essas plantas podem ser mais tolerantes a estresses nutricionais, como a falta de nitrogênio.

O estado nutricional da planta pode estar relacionado ao desenvolvimento de doenças em plantas (COLOMBO et al., 2014). A relação do nitrogênio com o aumento da suscetibilidade a doenças tem sido enfatizada por diversos autores, contudo não existe um consenso nos resultados publicados (FAGARD et al., 2014). A deficiência de nitrogênio no balanço nutricional pode alterar processos fisiológicos e bioquímicos, levando a um enfraquecimento das plantas, o que pode culminar com a maior suscetibilidade das mesmas aos patógenos (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996). Nos resultados obtidos nessa pesquisa não foi visto uma interação entre os ambientes com diferentes disponibilidades de nitrogênio, porém, houve diferença entre os genótipos com relação à suscetibilidade às doenças. A sanidade de plantas é uma importante característica para se avaliar em programas de melhoramento genético do milho, pois se pode identificar fontes promissoras de resistência às doenças.

Para a adoção de um determinado híbrido, produtores têm levado em consideração, dentre outras características, o ciclo da planta. A classificação das plantas de milho com relação ao ciclo pode ser realizada conforme o somatório de graus-dia (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Verificou-se que os

híbridos comerciais indicados para o cultivo na região sul de Minas, DKB177 e GNZ9501, apresentaram exigência térmica para iniciar a antese de 895,4 e 926,5 graus-dias, respectivamente. Foi observada variação nos valores do somatório de graus-dia nos genótipos avaliados para essa característica. Com isso, a seleção de genótipos para determinadas condições de cultivo pode ser realizada. A soma térmica como medida da precocidade em milho é oligogênica, sendo os efeitos de dominância mais importantes (LIMA et al., 2008), desse modo, a seleção deveria ser realizada por meio da avaliação dos cruzamentos. As progênes híbridas 11x9, 9x11 e 9x3 poderiam ser classificadas como precoces (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), as quais, em gerações mais avançadas, poderiam ser utilizadas para a produção de híbridos precoces.

Em programas de melhoramento genético de milho, um dos principais objetivos é o aumento da produtividade de grãos, tanto das linhagens utilizadas como genitor feminino quanto do híbrido. Na presente pesquisa as linhagens oriundas do programa de melhoramento do Departamento de Biologia da UFLA, DBI 10 e DBI 11 tiveram produtividade de grãos acima de 5.100 kg ha<sup>-1</sup> na média dos dois ambientes. As progênes também apresentaram boa produtividade de grãos, com valores acima de 5.800 kg ha<sup>-1</sup>. Em programas de melhoramento genético de milho visando à produção de híbridos o genitor masculino tem que possuir dentre os diversos atributos, boa produção de pólen. Já o genitor feminino deve possuir alta produtividade de grãos, pois assim consegue-se maior quantidade de sementes híbridas, o que pode reduzir os custos na obtenção das mesmas. Observa-se que a média das linhagens e das progênes pode ser considerada boa, visto que em empresas privadas, as linhagens utilizadas como genitor feminino tem que produzir acima de 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Os híbridos comerciais utilizados como testemunhas tiveram maior produtividade de grãos média, isso pode ser devido ao alto potencial genético que eles apresentam. Para as progênes híbridas, algumas delas se

destacaram pela alta produtividade de grãos, abaixo apenas das testemunhas. Com isso pode-se inferir que as progênies híbridas apresentam potencial para serem exploradas comercialmente.

Avaliar o comportamento das progênies *per se* e em combinações híbridas para a EUN é de fundamental importância para realizar a classificação quanto à tolerância e responsividade à disponibilidade de nitrogênio no solo, assim como para selecionar os genitores para se obter combinações híbridas superiores. No estudo feito com progênies S<sub>0.1</sub> da mesma população utilizada na presente pesquisa, foi observado que as melhores progênies híbridas foram obtidas a partir de cruzamentos entre progênies contrastantes para a EUN, ou seja, progênies responsivas e tolerantes com progênies não responsivas e não tolerantes (GUEDES et al., 2015). Por meio dos resultados apresentados nessa pesquisa foi observado que as melhores combinações híbridas, apresentando maior produtividade de grãos, foram oriundas do cruzamento entre duas progênies classificadas como RT.

Na presente pesquisa a classificação das progênies L3, L8, L9 e L11 quanto à responsividade e tolerância esperada e observada, não foi estável quando as mesmas foram classificadas em outros ambientes e safras anteriores (GUEDES et al., 2015). Pode-se inferir que a presença de uma forte interação entre as progênies, ano de plantio e disponibilidade de nitrogênio no solo pode ter alterado a classificação das progênies. Quando comparado os experimentos conduzidos por Guedes et al. (2015), o nível de estresse utilizado na presente pesquisa para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio foi o mesmo utilizado pelo autor supracitado. Contudo, para o ambiente alto N, na presente pesquisa foi aplicado 208 kg ha<sup>-1</sup> de N, ou seja, 80 kg ha<sup>-1</sup> de N a mais do que no trabalho realizado por Guedes et al. (2015). Também fica implícito que se houve modificação na classificação das progênies quanto à tolerância e responsividade

à disponibilidade de nitrogênio no solo, a classificação dos híbridos oriundos do cruzamento entre essas progênes também seria alterada.

Para as progênes híbridas a classificação esperada quanto à tolerância e responsividade é determinada a partir da classificação dos genitores esperada e os cruzamentos realizados. Desse modo, duas progênes  $R_nT_n$  produziram progênes híbridas  $R_nT_n$ . Já o cruzamento entre uma progênie RT com outra  $R_nT_n$ , resultaria em uma progênie  $R_nT$  ou  $RT_n$ . Na geração  $S_{0:2}$  apenas 41% das progênes híbridas tiveram a classificação esperada igual à observada. Isso pode ser decorrente, conforme já salientado, da diferença na classificação observada entre as progênes utilizadas nos cruzamentos. Quando se compara a classificação observada das progênes híbridas na geração  $S_{0:1}$  com a classificação observada das progênes híbridas na geração  $S_{0:2}$ , observa-se que apenas o cruzamento entre as progênes L8 e L11 foi coincidente entre as duas gerações.

A análise dialélica é uma metodologia utilizada para se obter informações sobre a herança dos caracteres, estimativa da CGC e CEC, predominância dos efeitos gênicos aditivos ou de dominância/epistasia, entre outros. Por meio dela pode-se selecionar a melhor estratégia de condução e avaliação de progênes e das combinações híbridas oriundas dessas progênes. As estimativas da CGC para a produtividade de grãos não foram significativas para os ambientes baixo N e alto N, assim como para a análise conjunta desses ambientes. Isso evidencia que em média, as progênes contribuem com mesma equivalência com a quantidade de alelos favoráveis para aumentar a produtividade de grãos em ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo. Com as magnitudes das estimativas da CGC para a análise conjunta, pode-se inferir que os genitores L8 e L9 proporcionam melhores contribuições de alelos favoráveis para o aumento de produtividade de grãos. Resultado diferente foi reportado por El-Badawy et al. (2013) quando os autores

avaliaram um conjunto de sete linhagens de milho. As magnitudes da CGC foram significativas para ambientes com baixa e alta disponibilidade de N no solo e, ainda, na análise conjunta entre os ambientes.

Os efeitos da CEC, os quais são desvios dos valores estimados com relação aos valores esperados com base na CGC, nos informam sobre os efeitos gênicos não aditivos, ou seja, de dominância/epistasia. A significância dessa fonte de variação indica a existência de variabilidade entre os efeitos não aditivos, além de nos permitir inferir que a complementariedade dos locos nos cruzamentos entre as progênies são diferentes. Altas magnitudes positivas dessa característica nos informam qual a melhor combinação híbrida, e isso é essencial para obtenção de híbridos superiores. Nesse sentido, por meio da análise conjunta para a produtividade de grãos, os cruzamentos de L3xL9, L8xL9, L11xL3 e L11xL8 apresentaram maiores magnitudes da CEC. Para o desenvolvimento de híbridos recomenda-se que o valor da CEC seja de alta magnitude e, ainda, que um dos genitores apresente alta CGC. Assim, pode ser observado que a progênie L9 apresentou, na média dos ambientes, maior valor da CGC. Por conseguinte, essa progênie deveria ser utilizada nos cruzamentos.

Não foi observada significância da interação entre CEC e os ambientes, evidenciando que os efeitos não aditivos são consistentes entre os ambientes baixo N e alto N. Resultados semelhantes para as mesmas progênies foram reportados por Guedes et al. (2014). Fica evidente que os efeitos da CEC, quando comparados os resultados da presente pesquisa com os de Guedes et al. (2014), são estáveis entre as gerações  $S_{0.1}$  e  $S_{0.2}$ . Dessa forma, a seleção visando ao aumento da EUN pode ser praticada na média dos ambientes. É válido salientar que as estimativas da CGC e CEC foram mensuradas por meio da produtividade de grãos. Com isso, não se pode extrapolar esse resultado para as demais características avaliadas na presente pesquisa. Avaliando a produtividade de grãos em híbridos simples, Li et al. (2011) observaram que a seleção

praticada em ambientes com alta disponibilidade de nitrogênio no solo pode favorecer o desenvolvimento de híbridos adaptados para condições de baixo e alto N.

A inclusão de cruzamentos recíprocos em esquemas de dialelos na experimentação agrônômica não é uma tarefa fácil para o melhorista. Fatores como o número de genitores que irão compor o dialelo, recursos financeiros, mão de obra, quantidade de sementes disponíveis, área para experimentação e caracteres a serem avaliados precisam ser levados em consideração. A utilização dos cruzamentos recíprocos em análises dialélicas influencia as estimativas da CEC, de modo que essas estimativas foram diferentes quando as linhagens foram utilizadas como genitoras femininas ou masculinas (FAN et al., 2014; MAHGOUB, 2011; YAO et al., 2013). Aproximadamente, 20% dos cruzamentos dialélicos entre linhagens de milho apresentaram efeito recíproco significativo (FAN et al., 2014). O autor supracitado ainda verificou que em um dos cruzamentos, a diferença na produtividade de grãos foi 13%. As estimativas dos efeitos dos recíprocos possuem um impacto sobre a determinação da produtividade de grãos de híbridos (FAN et al., 2014; YAO et al., 2013). Por meio dos resultados obtidos foi visto que para os genótipos avaliados nessa pesquisa o efeito recíproco não foi significativo. Desse modo, infere-se que as progênes genitoras podem ser utilizadas como genitor masculino ou feminino, tanto em ambiente com baixa ou alta disponibilidade de nitrogênio no solo.

O grau médio de dominância (GMD) permite inferir qual o tipo de ação gênica está relacionado ao controle genético do caráter. Os valores próximos de zero para o GMD indicam que o efeito da CEC é muito importante quando comparado com o efeito da CGC. As estimativas do GMD para os genótipos avaliados na presente pesquisa indicam que os efeitos de dominância são mais importantes do que os efeitos aditivos para a EUN no milho. Com isso, a seleção de genótipos superiores deve ser realizada considerando o desempenho dos

híbridos obtidos. Resultado semelhante envolvendo as mesmas progênies, na geração  $S_{0:1}$ , foi reportado por Guedes et al. (2014). É oportuno salientar que a expressão utilizada para estimar o GMD tem sido útil para estimar a relação entre a CGC e a CEC quando os efeitos dessas estimativas são considerados fixos (BAKER, 1978; BERTRÁN et al., 2003; HUNG; HOLLAND, 2012).

O programa de melhoramento genético do milho da UFLA tem como um dos objetivos fornecer sementes de híbridos e variedades superiores, obtidos ao longo dos anos, aos agricultores de baixo nível tecnológico da região sul de Minas Gerais. Grandes quantidades de sementes têm sido distribuídas anualmente dos principais híbridos e variedades obtidos pelo programa. Desse modo, espera-se que com o presente trabalho novas linhagens e combinações híbridas possam ser obtidas posteriormente, com maior eficiência do uso do nitrogênio. Por conseguinte, também se espera que a utilização das mesmas por agricultores de baixo nível tecnológico possa reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados, em relação ao que é utilizado atualmente, diminuindo assim o custo de produção e impactos ambientais, tornando o sistema de cultivo com maior sustentabilidade.

## **5 CONCLUSÕES**

Os efeitos não aditivos foram mais importantes e estáveis para a eficiência do uso do nitrogênio quando se avaliou a produtividade de grãos.

A classificação das progênies híbridas oriundas das mesmas não foi estável quando se avançou uma geração de autofecundação.



## REFERÊNCIAS

- ABE, A. et al. Performance of tropical maize hybrids under conditions of low and optimum levels of nitrogen fertilizer application: grain yield, biomass production and nitrogen accumulation. **Maydica**, Bergamo, v. 58, p. 141-150, 2013
- AGROCERES. **Guia agroceres de sanidade**. São Paulo: Sementes Agroceres, 1996. 72 p.
- AJALA, S. O. et al. Full-sib vs S<sub>1</sub> selection scheme for the improvement of a maize population for tolerance to low soil nitrogen. **Maydica**, Bergamo, v. 55, p. 239-248, 2010.
- ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 158-167. 2001.
- BAKER, R. J. Issues in diallel analysis. **Crop Science**, Madison, v. 18, p. 533-536, 1978.
- BERTRÁN, F. J. et al. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 807-817, 2005.
- CIAMPITTI, I A.; VYN, T. J. Physiological perspective of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 133, p. 48-67, 2012.
- COLOMBO, G. A. Et al. Análise dialélica para resistência a ferrugem polissora em milho em diferentes níveis de adubação fosfatada. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 65-71, 2014.

COSTA, E. N. F. Et al. Herança da senescência retardada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 207-213, 2008.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: UFV, 2013. 285 p.

DUVICK, D. N. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, v. 50, p. 193-202, 2005.

EL-BADAWY, M. E. L. M. Heterosis and combining ability in maize using diallel crosses among seven new inbred lines. **Asia Journal of Crop Science**, New York, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2013.

FAN, X. M. et al. Reciprocal diallel crosses impact combining ability, variance estimation, and heterotic group classification. **Crop Science**, Madison, v. 54, n. 1, p. 89-97, 2014.

FAGARD, M. et al. Nitrogen metabolism meets phytopathology. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 19, p. 5643, 2014.

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

FRITSCH NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde de Rio Branco: Suprema, 2011. 250 p.

GAVA, G. J. C. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-uréia. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 851-862, out./dez. 2010.

GODOY, C. L. et al. Methods to classify maize cultivars in use efficiency and response to nitrogen. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 5, p. 699-705, Sept./Oct. 2013.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.

GUEDES, F. L. et al. Inheritance of nitrogen use efficiency in inbred progenies of tropical maize based on multivariate diallel analysis. **The Scientific World Journal**. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/894710/>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

GUEDES, F. L. et al. The behavior of maize hybrids generated from contrasting progenies regarding the use of nitrogen. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 45-50, Jan./Mar. 2015.

GUEDES, F. L. et al. Evaluation of maize top crosses under two nitrogen levels. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1115-1121, Nov./Dec. 2011.

HUNG, H. Y.; HOLLAND, J. B. Diallel analysis of resistance to Fusarium Ear Rot and Fumonisin contamination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 52, p. 2173-2181, Sept./Oct, 2012.

JIANG, G. H. et al. The genetic basis of stay-green in rice analyzed in a population of doubled haploid lines derived from an *indica* by *japonica* cross. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 108, p. 688-698, 2004.

LEE, E. A.; TOLLENAAR, M. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 202-215, 2007.

LI, L. et al. Estimation of quantitative genetic and stability parameters in maize under high and low N levels. **Maydica**, Bergamo, v. 56, p. 25-34, 2011.

LIMA, J. L. et al. Controle genético da exigência térmica para o início do florescimento em milho. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 127-131, 2008.

MAHGOUB, G. M. A. Partitioning of general and specific combining ability effects for estimating maternal and reciprocal effects. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 213, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. 1 Software.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 182-194, 2007.

SILVA, W. C. M. et al. Temperatura do ar e a duração dos estádios fenológicos do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETRIA, 1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: SBMET, 2001. 1 CD ROM.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

YAO, W. H. et al. Diallel analysis models: a comparison of certain genetic statistics. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 4, p. 1481-1490, 2013.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas. **Informações Agronômicas**, Campinas, v. 75, p. 1-16, 1996.

**ANEXOS**

**Tabela 1A** Resumo da análise de variância individual para o ambiente com alto nível de nitrogênio para as características altura da primeira espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de planta (EP) e *stay-green* (SG)

F.V	G.L	Q.M.				
		AE	DC	SAN	AP	SG
<b>Bloco</b>	2	39,52	0,35	0,26	50,67	0,31
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	634,18**	8,04**	2,62**	1.772,70**	4,01**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	146,23*	3,52	1,16*	299,42*	0,18
<b>Pais</b>	3	751,11**	0,75	2,00*	2.578,68**	2,52*
<b>Recíprocos</b>	5	217,16*	1,80	1,8*	386,90*	0,98
<b>Testemunhas</b>	3	1.269,00**	7,50*	4,08**	4.213,11**	10,66**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	6,46	3,98	7,11*	4,34	4,69*
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	232,33	0,19	2,93*	503,33*	2,68*
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	968,36*	4,90	0,00	810,68*	0,35
<b>Erro</b>	38	56,89	1,43	0,40	69,20	0,52
<b>Média</b>		103,52	21,89	5,36	197,89	2,01
<b><math>\hat{r}_{\hat{g}g}</math></b>		0,95	0,90	0,92	0,98	0,93

\*,\*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.

**Tabela 2A** Resumo da análise de variância individual para o ambiente com alto nível de nitrogênio para as características prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM), produtividade de grãos (PG) e teor de clorofila (TC)

F.V	G.L	Q.M.				
		PROL	FMAS	FFEM	PG	TC
<b>Bloco</b>	2	0,04	1.097,0	373,3	13.686.041	0,4
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	0,04	2.992,1**	4.990,6**	39.370.020**	91,7**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	0,01	836,3*	1.345,2*	4.778.851	8,4
<b>Pais</b>	3	0,13*	3.206,0**	2.705,9*	3.340.840	69,8**
<b>Recíprocos</b>	5	0,01	1.678,4**	5.481,6*	5.154.274	4,0
<b>Testemunhas</b>	3	0,08	2.311,3**	5.598,7**	109.360.330**	283,2**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	0,15*	11.835,6**	18.901,6**	89.885.270**	147,8**
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	0,00	5.974,2**	6.175,2*	11.374.503	184,0**
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	0,10	88,9	68,0	11.645	7,6
<b>Erro</b>	38	0,03	227,5	354,3	2.940.306	278,4
<b>Média</b>		1,14	913,2	916,1	10.548.42	56,2
$\hat{r}_{\hat{g}g}$		0,52	0,96	0,96	0,96	0,96

\*, \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.

**Tabela 3A** Resumo da análise de variância individual para o ambiente com baixo nível de nitrogênio para as características altura da primeira espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de planta (EP) e *stay-green* (SG)

F.V	G.L	Q.M.				
		AE	DC	SAN	AP	SG
<b>Bloco</b>	2	172,61	7,66	1,40	52,35	0,01
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	694,97**	6,60**	3,35**	2.041,24**	3,52**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	259,62*	1,47	4,08*	493,82*	0,23
<b>Pais</b>	3	576,97*	10,33*	2,97*	2.350,30**	3,63*
<b>Recíprocos</b>	5	124,22	1,34	2,18*	316,08*	0,62
<b>Testemunhas</b>	3	1.348,44**	5,48*	4,00*	5.101,66**	8,08**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	400,00*	3,96	3,36*	367,36*	0,02
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	20,00	0,71	0,08	8,88	8,45**
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	304,20*	12,35*	0,00	325,35	0,05
<b>Erro</b>	38	71,00	1,47	0,68	86,24	0,42
<b>Média</b>		99,63	21,73	5,6	193,15	2,51
<b><math>\hat{r}_{\hat{g}g}</math></b>		0,95	0,88	0,89	0,98	0,94

\* , \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.



**Tabela 4A** Resumo da análise de variância individual para o ambiente com baixo nível de nitrogênio para as características prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM), produtividade de grãos (PG) e teor de clorofila (TC)

F.V	G.L	Q.M.				
		PROL	FMAS	FFEM	PG	TC
<b>Bloco</b>	2	0,06	339,8	959,9	8.525.924	5,8
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	0,01	2.519**	4.279,5**	21.900.30**	59,3*
<b>F<sub>1</sub></b>	5	0,00	1.024,0*	1.575,4*	1.572.801	7,5
<b>Pais</b>	3	0,01	98,3	20,4	100.180	60,2*
<b>Recíprocos</b>	5	0,00	2.397,4**	1.667,8*	3.489.813*	0,4
<b>Testemunhas</b>	3	0,03*	848,3	3.360,2**	52.845.732**	84,1*
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	0,00	5.961,1*	12.577,6**	37.565.883**	66,5*
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	0,06*	4.321,3*	2.021,3*	23.217.670**	207,4*
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	0,12	983,7	544,7	1.709	5,9
<b>Erro</b>	38	0,00	339,3	302,5	822.749	15,2
<b>Média</b>		1,10	913,7	923,0	10.175,25	49,3
$\hat{r}_{\hat{g}g}$		0,64	0,93	0,96	0,98	0,86

\*, \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.

**Tabela 5A** Resumo da análise de variância conjunta para as características altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de plantas (AP) e *stay-green* (SG)

F.V	G.L	Q.M.				
		AE	DC	SAN	AP	SG
<b>Blocos/Amb</b>	4	96,19	4,01	0,83	51,51	0,16
<b>Ambientes (Amb)</b>	1	455,32*	0,79	1,63	674,50*	7,50*
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	1.268,46**	12,05**	5,47**	3.733,92**	6,81**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	106,77	0,66	1,49*	228,44*	0,12
<b>Pais</b>	3	421,73**	1,93	1,60*	1.636,75**	1,87*
<b>Recíprocos</b>	5	98,75	0,73	1,09	207,85*	0,26
<b>Testemunhas</b>	3	867,50**	4,12*	2,42**	3.082,76**	5,79**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	63,38	3,26	4,80**	10,23	0,78
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	2.116,07**	30,92**	10,83**	5.582,78**	13,78**
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	48,95	0,70	4,41**	132,28	8,35**
<b>Gen/Tipos*Amb</b>	(19)	60,70	2,14	0,51	80,01	0,72
<b>F<sub>1</sub> x N</b>	5	28,56	0,99	0,25	6,24	0,01
<b>Pais x N</b>	3	20,97	1,76	0,05	35,97	0,18
<b>Recíprocos x N</b>	5	15,03	0,31	0,06	26,47	0,27
<b>Testemunhas x N</b>	3	4,98	0,20	0,27	22,17	0,45
<b>F<sub>1</sub> vs Rec x N</b>	1	45,37	0,04	0,01	12,04	0,04
<b>F<sub>1</sub> vs Pais x N</b>	1	57,96	0,42	0,00	44,25	0,37
<b>F<sub>1</sub> vs Test x N</b>	1	59,73	0,17	0,57	96,05	0,33
<b>Erro</b>	76	63,95	1,45	0,54	77,72	0,47
<b>Média</b>		101,58	21,81	5,48	195,52	2,26
<b><math>\hat{r}_{\hat{g}g}</math></b>		0,97	0,94	0,95	0,99	0,96

\*,\*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.

**Tabela 6A** Resumo da análise de variância conjunta para as características prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM), produtividade de grãos (PG) e teor de clorofila (TC)

F.V	G.L	Q.M.				
		PROL	FMAS	FFEM	PG	TC
<b>Blocos/Amb</b>	4	0,05	718,4	666,6	11.105.983	3,13
<b>Ambientes (Amb)</b>	1	0,04	9,6	1.426,2*	4.177.680	1.444,56**
<b>Genótipos/Tipos</b>	19	0,03*	5.168,3**	8.877,4**	58.318.101**	84,46**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	0,00	582,3	886,8*	1.303.620	4,23
<b>Pais</b>	3	0,01	677,8	424,3	395.517	39,32*
<b>Recíprocos</b>	5	0,00	1.299,6**	896,4*	2.656.556	0,52
<b>Testemunhas</b>	3	0,03	949,5*	2.893,8**	51.732.380**	43,61*
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	0,00	56,0	0,1	1.741.198	1,49
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	0,01	12.652,6**	29.515,5**	159.657.773**	186,23**
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	0,02	3.689,4**	3.682,2**	29.237.836**	0,16
<b>Gen/Tipos*Amb</b>	19	0,02	343,3	392,7	2.952.220	66,61**
<b>F<sub>1</sub> x N</b>	5	0,00	37,7	86,7	813.597	1,11
<b>Pais x N</b>	3	0,03	423,6	484,4	751.288	4,05
<b>Recíprocos x N</b>	5	0,00	58,9	24,8	224.806	0,99
<b>Testemunhas x N</b>	3	0,00	103,6	92,4	2.336.307	78,86**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec x N</b>	1	0,00	86,9	130,1	50.008	0,09
<b>F<sub>1</sub> vs Pais x N</b>	1	0,00	31,8	42,0	5.462.826	2,70
<b>F<sub>1</sub> vs Test x N</b>	1	0,00	0,5	155,7	2.133.196	125,75**
<b>Erro</b>	76	0,02	283,4	328,4	1.881.528	11,30
<b>Média</b>		1,12	913,5	919,5	10.361	52,83
<b><math>\hat{r}_{\hat{g}g}</math></b>		0,66	0,97	0,98	0,98	0,93

\*, \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  – acurácia seletiva.

**Tabela 7A** Médias das características altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de plantas (AP) e *stay-green* (SG), avaliadas no ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio

<b>Genótipos</b>	<b>AE</b>	<b>DC</b>	<b>SAN</b>	<b>AP</b>	<b>SG</b>
<b>(11x3)</b>	105,6 b*	22,3 a	6,6 b	201,6 c	2,0 d
<b>(11x8)</b>	97,3 c	20,9 b	5,6 c	199,6 c	2,0 d
<b>(11x9)</b>	116,3 a	22,2 a	6,0 c	216,0 b	2,0 d
<b>(3x11)</b>	106,6 b	23,3 a	5,6 c	207,0 c	2,0 d
<b>(3x8)</b>	92,6 c	22,8 a	4,0 e	180,3 d	1,3 d
<b>(3x9)</b>	108,0 b	21,5 b	5,3 d	203,3 c	2,0 d
<b>(8x11)</b>	102, c	23,1 a	6,3 c	205,0 c	1,6 d
<b>(8x3)</b>	97,3 c	22,3 a	5,0 d	187,0 d	2,0 d
<b>(8x9)</b>	114,3 a	22,6 a	3,6 e	214,3 b	1,6 d
<b>(9x11)</b>	116,3 a	23,5 a	6,6 b	217,6 b	2,0 d
<b>(9x3)</b>	106,0 b	22,0 b	5,6 c	197,3 c	3,0 c
<b>(9x8)</b>	109,0 b	22,1 a	4,3 e	200,6 c	2,0 c
<b>DBI10</b>	70,3 f	19,6 c	4,3 e	143,0 g	4,6 a
<b>DBI11</b>	95,6 c	21,3 b	7,0 b	175,0 e	5,0 a
<b>DKB177</b>	113,6 a	22,5 a	5,0 d	224,3 a	2,0 d
<b>GNZ9501</b>	116,3 a	22,5 a	5,0 d	229,0 a	2,0 d
<b>L11</b>	94,0 c	19,3 c	7,6 a	190,6 d	2,6 c
<b>L3</b>	80,0 e	21,7 b	6,0 c	159,0 f	2,0 d
<b>L8</b>	62,3 g	17,5 d	5,3 d	128,6 h	4,3 b
<b>L9</b>	88,6 d	20,8 b	6,6 b	183,3 d	4,0 b

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 8A** Médias das características prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM), produtividade de grãos (PG) e teor de clorofila (TC), avaliadas no ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio

<b>Genótipos</b>	<b>PROL</b>	<b>FMAS</b>	<b>FFEM</b>	<b>PG</b>	<b>TC</b>
<b>(11x3)</b>	1,07 a*	891,3 c	891,3 e	12340,8 b	47,8 b
<b>(11x8)</b>	1,08 a	908,7 c	908,9 d	11632,6 c	48,7 b
<b>(11x9)</b>	1,18 a	882,5 d	886,9 e	12227,1 b	47,7 b
<b>(3x11)</b>	1,06 a	891,3 c	886,9 e	11106,4 c	49,2 b
<b>(3x8)</b>	1,05 a	929,6 b	946,9 b	10600,0 d	51,3 b
<b>(3x9)</b>	1,05 a	882,7 d	886,9 e	11618,7 c	49,1 b
<b>(8x11)</b>	1,13 a	904,0 c	908,4 d	12641,0 b	49,8 b
<b>(8x3)</b>	1,06 a	927,0 b	930,8 c	9782,7 e	49,7 b
<b>(8x9)</b>	1,10 a	908,7 c	908,7 d	12608,8 b	51,2 b
<b>(9x11)</b>	1,17 a	871,1 d	882,7 e	11011,8 c	50,2 b
<b>(9x3)</b>	1,11 a	852,2 e	871,1 e	11258,9 c	49,9 b
<b>(9x8)</b>	1,12 a	916,9 b	921,3 c	12584,9 b	49,3 b
<b>DBI10</b>	1,24 a	934,0 b	930,2 c	5863,9 g	52,5 b
<b>DBI11</b>	1,03 a	943,1 a	968,5 a	5698,3 g	61,7 a
<b>DKB177</b>	1,28 a	904,0 c	886,9 e	13897,8 a	53,6 b
<b>GNZ9501</b>	1,13 a	930,8 b	922,2 c	11933,8 b	49,1 b
<b>L11</b>	1,03 a	956,5 a	977,9 a	6881,0 f	38,2 e
<b>L3</b>	1,09 a	950,8 a	982,8 a	6708,9 f	45,8 c
<b>L8</b>	0,96 a	946,9 a	978,3 a	6437,1 f	48,7 b
<b>L9</b>	1,11 a	943,1 a	982,5 a	6669,7 f	42,7 d

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 9A** Médias das características altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de plantas (AP), *stay-green* (SG), avaliadas no ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio

Genótipos	AE	DC	SAN	AP	SG
<b>(11x3)</b>	95,0 d*	23,9 a	5,6 c	194,3 e	1,3 e
<b>(11x8)</b>	107,3 c	22,1 b	5,6 c	213,0 c	1,3 e
<b>(11x9)</b>	113,3 b	21,1 c	5,3 c	211,0 d	1,6 e
<b>(3x11)</b>	108,0 c	24,0 a	5,6 c	206,6 d	1,6 e
<b>(3x8)</b>	98,3 c	21,8 b	5,0 d	188,0 e	1,0 e
<b>(3x9)</b>	108,3 c	23,0 b	5,3 c	206,3 d	1,3 e
<b>(8x11)</b>	113,3 b	23,5 a	6,0 c	210,6 d	2,6 d
<b>(8x3)</b>	100,6 c	23,5 a	5,0 d	191,6 e	1,3 e
<b>(8x9)</b>	108,6 c	21,3 c	4,0 e	208,0 d	1,0 e
<b>(9x11)</b>	121,0 a	22,5 b	6,3 b	217,3 c	1,6 e
<b>(9x3)</b>	103,6 c	22,8 b	5,0 d	193,3 e	2,0 d
<b>(9x8)</b>	120,3 a	21,9 b	4,6 d	217,3 c	1,0 e
<b>DBI10</b>	77,3 f	20,2 d	4,0 e	153,3 g	2,3 d
<b>DBI11</b>	103,3 c	21,3 c	6,0 c	194,0 e	5,0 a
<b>DKB177</b>	123,0 a	22,5 b	5,0 d	228,3 b	1,0 e
<b>GNZ9501</b>	118,3 a	23,9 a	3,3 f	235,0 a	1,0 e
<b>L11</b>	93,6 d	19,0 d	7,3 a	194,6 e	2,3 d
<b>L3</b>	87,0 e	20,0 d	6,3 b	166,6 f	2,6 d
<b>L8</b>	66,2 g	19,6 d	5,3 c	133,1 h	3,6 c
<b>L9</b>	103,6 c	18,9 d	6,3 b	195,0 e	4,3 b

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 10A** Médias das características prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM), produtividade de grãos (PG) e teor de clorofila (TC), avaliadas no ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio

Genótipos	PROL	FMAS	FFEM	PG	TC
(11x3)	1,24 a*	895,4 e	895,4 e	11004,5 c	59,2 a
(11x8)	1,23 a	895,4 e	886,9 e	13158,2 b	56,3 b
(11x9)	1,14 a	871,1 g	859,4 f	11717,5 c	57,2 b
(3x11)	1,08 a	886,9 f	886,9 e	11204,5 c	58,3 a
(3x8)	1,16 a	922,2 d	922,2 d	11338,2 c	58,7 a
(3x9)	1,09 a	891,3 e	882,7 e	13475,6 b	58,5 a
(8x11)	1,24 a	899,6 e	895,4 e	12594,1 b	59,3 a
(8x3)	1,03 a	934,9 c	921,7 d	9475,7 d	59,7 a
(8x9)	1,11 a	904,0 e	904,0 d	14046,7 b	61,2 a
(9x11)	1,08 a	874,0 g	878,3 e	11968,7 c	57,4 b
(9x3)	1,11 a	875,5 g	878,3 e	12730,6 b	59,3 a
(9x8)	1,11 a	913,1 e	917,5 d	12945,0 b	60,8 a
<b>DBI10</b>	1,14 a	950,8 b	943,1 c	4456,3 f	41,1 f
<b>DBI11</b>	1,01 a	938,7 c	968,5 b	6118,4 e	49,7 d
<b>DKB177</b>	1,41 a	886,9 f	866,9 f	15726,8 a	60,5 a
<b>GNZ9501</b>	1,29 a	922,2 d	922,2 d	15630,1 a	61,6 a
<b>L11</b>	0,94 a	995,1 a	1016,4 a	4752,6 f	46,0 e
<b>L3</b>	0,96 a	938,1 c	965,4 b	5192,5 f	49,6 d
<b>L8</b>	1,40 a	917,8 d	946,9 c	7036,2 e	57,2 b
<b>L9</b>	1,05 a	950,8 b	963,9 b	6395,3 e	53,3 c

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott.

**ARTIGO 2**

**ASSOCIAÇÕES ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS E A  
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS SOB O ENFOQUE DA EFICIÊNCIA DO  
USO DO NITROGÊNIO EM MILHO**



## **ARTIGO 2 Associações entre caracteres agronômicos e a produtividade de grãos sob o enfoque da eficiência do uso do nitrogênio**

**Resumo** - No presente trabalho objetivou-se verificar se existem diferenças nas relações entre os caracteres avaliados em experimentos com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo por meio dos coeficientes de correlações fenotípicas e por meio da análise de trilha. Quatro progênies previamente classificadas quanto à responsividade e tolerância ao nitrogênio foram cruzadas no esquema de dialelo completo, obtendo os híbridos  $F_1$ 's e os recíprocos. Os genitores, as combinações híbridas e mais quatro testemunhas foram avaliadas em dois experimentos com diferentes disponibilidades de nitrogênio no solo, baixa e alta, sob o delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições. As características avaliadas foram: teor de clorofila nas folhas, florescimento masculino e feminino, diâmetro do colmo, altura da planta, altura da primeira espiga, sanidade, *stay-green*, prolificidade, produtividade de grãos e componentes de produção. Foram realizadas análises de variâncias individuais para cada experimento, e posteriormente foi estimada a correlação fenotípica para os caracteres agronômicos e para os componentes de produção. Posteriormente foi estimada a relação de causa e efeito por meio da análise de trilha. A correlação fenotípica do teor de clorofila e a produtividade de grãos foi significativa somente para o ambiente alto N. O florescimento feminino, para o ambiente baixo N, apresentou efeito direto sobre a produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* L., correlações fenotípicas, análise de trilha.

**Abstract** - This study aimed to determine whether there are differences in the relationships between the characters evaluated in the experiments with low and high nitrogen availability in the soil by phenotypic correlation coefficients and by path analysis. Four progenies previously classified as responsiveness and tolerance to nitrogen were crossed in complete diallel scheme, obtaining the F<sub>1</sub>'s hybrids and reciprocals crosses. The parents, the hybrids and four controls were set up in two trails under both low and high-N availability in the soil, in a randomized complete block design with three replications. The characteristics evaluated were: leaves chlorophyll content, male and female flowering, stem diameter, plant height, first ear height, plant health, stay-green, prolificacy and grain yield and yield components. Analyzes of variance were performed for each experiment, and the phenotypic correlations for agronomic traits and yield components were later estimated. The relation of cause and effect through path analysis were estimated as well. The phenotypic correlation of chlorophyll content and grain yield was significant only in high-N environment. The female flowering for low-N environment presented a direct effect on grain yield.

Keywords: *Zea mays* L., phenotypic correlation, path analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

A produtividade de grãos é um caráter de baixa herdabilidade e controle genético complexo, pois diversos genes de pequenos efeitos podem estar relacionados com o mesmo, ainda salienta-se a forte influência do ambiente na expressão desses genes, além da interação entre esses fatores (ALLARD, 1971). Desse modo, o uso de variáveis secundárias com elevadas herdabilidades e correlação com a produtividade de grãos pode ser primordial para programas de melhoramento genético de milho.

A correlação é uma medida de intensidade de associação linear entre duas características ou uma média do grau de variação conjunta (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Sendo assim, para um caráter com baixa herdabilidade, a seleção indireta por meio de caracteres menos complexos, de maior herdabilidade e facilidade de avaliação, pode resultar em maiores progressos genéticos em relação ao uso de seleção direta (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010). As estimativas das correlações fenotípicas entre a produtividade de grãos e outros caracteres de importância para o milho, visando ao aumento da eficiência do uso do nitrogênio (EUN), têm sido utilizadas (GODOY et al., 2013; HEINZ et al., 2012; KUMAR; JOSHI; DAGLA, 2013).

A EUN é um caráter que tem sido pesquisado na cultura do milho em diferentes populações e em diversos países (CIAMPITTI; VYN, 2012; SADRAS; LEMAIRE, 2014). É um caráter complexo, poligênico (KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011), mensurado por meio de diversas metodologias (MOLL; KAMPRATH; JACKSON, 1982), contudo, a relação do mesmo com a produtividade de grãos é bastante utilizada (CIAMPITTI; VYN, 2012; GALLAIS; COQUE, 2005; GUEDES et al., 2014). Conforme salientado, a produtividade de grãos possui baixa herdabilidade, por conseguinte, a EUN também se torna um caráter complexo para se obter ganhos com a seleção.

Sendo assim, o uso da seleção indireta por meio de caracteres correlacionados com a produtividade de grãos torna-se plausível. A eficiência da seleção indireta para a EUN tem sido discutida na literatura (GALLAIS; COQUE, 2005; LI et al., 2011).

Os coeficientes de correlação, apesar de serem de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências de variáveis na determinação de caracteres complexos, não apresentam as relações de causa e efeitos, assim como não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores. Para tanto, estudos sobre o desdobramento do coeficiente de correlação são feitos pela análise de trilha (WRIGHT, 1921).

A análise de trilha proporciona um conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos em um diagrama previamente estabelecido e justifica a existência de correlações positivas e negativas, de altas e baixas magnitudes entre os caracteres estudados (SILVA et al., 2005). Com esse método é possível estimar se há correlação e relação de causa e efeito entre os caracteres secundários e a variável principal. Diversos trabalhos na literatura com a cultura do milho utilizam a análise de trilha para verificar a influência direta e indireta de caracteres secundários sobre um caráter principal, contudo em pesquisas visando ao aumento da EUN isso não tem sido usado com frequência.

Outro fator que deve ser levado em consideração é que o ambiente pode exercer influência diferente dependendo da característica. Assim, torna-se fundamental em pesquisas relacionadas à caracterização de genótipos com relação à EUN, que as estimativas de parâmetros genéticos sejam realizadas para cada disponibilidade de N, separadamente (HEINZ et al., 2012). A seleção de genótipos também deve ser realizada para cada nível disponibilidade de nitrogênio no solo, visto que a seleção em ambientes com condições normais de desenvolvimento da planta pode não ser efetiva na identificação de genótipos

superiores para condições de estresse (BERTRÁN et al., 2003; GALLAIS; COQUE, 2005).

Diante do exposto, no presente trabalho o objetivo foi verificar se existem diferenças nas relações entre os caracteres avaliados em experimentos com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo (i) por meio dos coeficientes de correlações fenotípicas de caracteres agrônômicos e para os componentes de produção, (ii) assim como estudar as relações de causa e efeito desses caracteres com a produtividade de grãos por meio da análise de trilha.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (DBI/UFLA), situada no município de Lavras-MG, com altitude de 918 m, coordenadas 21° 14' S e 45° 00' W. O clima predominante é o Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Koppen.

Os genótipos utilizados foram obtidos a partir de um cruzamento no esquema de dialelo completo entre quatro progênies  $S_{0,2}$  contrastantes quanto ao uso do N. As progênies de número 3 e 11 foram previamente caracterizadas como responsivas e tolerantes (RT), 8 e 9 foram classificadas como não responsivas e não tolerantes ( $R_nT_n$ ) (GUEDES et al., 2011). Foram obtidas seis combinações híbridas e mais os recíprocos, totalizando em doze progênies híbridas.

As doze progênies híbridas  $S_{0,2}$ , mais as quatro progênies  $S_{0,2}$  e quatro testemunhas, sendo dois híbridos comerciais e duas linhagens oriundas do programa de melhoramento genético de milho do DBI/UFLA, foram avaliadas

em dois experimentos com níveis contrastantes quanto à adubação nitrogenada, sob delineamento de blocos completos casualizados, com três repetições.

Antes da semeadura, amostras do solo na área destinada ao plantio foram coletadas. Os resultados das propriedades químicas do solo estão representados na Tabela 1. A semeadura foi realizada no solo sob sistema de plantio direto, na safra de verão no ano de 2011/2012. As parcelas foram constituídas de duas linhas de quatro metros de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,60 m e de 0,25 m entre plantas, correspondendo a um estande de, aproximadamente, 66.667 plantas ha<sup>-1</sup>.

Para a diferenciação dos níveis de nitrogênio, no ambiente de baixo N foram aplicados na semeadura 350 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 08-28-16 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), correspondendo a 28 kg de N ha<sup>-1</sup>. No ambiente com alta disponibilidade de N, além da adubação de plantio mencionada anteriormente, foram realizadas duas adubações de cobertura com ureia (45-00-00) nos estádios V4 e V6, totalizando em 208 kg de N ha<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos culturais foram os mesmos recomendados para cultivo do milho no sul de Minas Gerais.

As características avaliadas foram: teor de clorofila nas folhas de plantas no estágio de 8-10 folhas (ARGENTA et al., 2001); florescimento masculino e feminino, contabilizados em graus-dia (SILVA, 2001); diâmetro do colmo; altura da planta; altura da primeira espiga; sanidade (AGROCERES, 1996); *stay-green* (COSTA et al., 2008); prolificidade; produtividade de grãos, corrigido para 13% de teor de água.

Após a colheita foram amostradas cinco espigas representativas de cada parcela para avaliar os componentes de produção. As características avaliadas foram: peso da espiga, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras, diâmetro do sabugo, peso da massa de cem grãos. A partir das mensurações foi estimada a profundidade de grãos, obtida por meio da subtração dos valores do diâmetro da espiga pelos valores do diâmetro

do sabugo. As avaliações foram realizadas com auxílio de uma régua milimetrada, um paquímetro digital e uma balança de precisão. Para a realização das análises de variâncias individuais para os componentes de produção foram estimadas as médias por parcela.

**Tabela 1** Resultados analíticos das propriedades químicas do solo coletado na área destinada à implementação dos experimentos relacionados à eficiência do uso do nitrogênio

pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
---	--mg/dm <sup>3</sup> -					-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----				-----%---		dag/kg	mg/L
5,6	184	93,0	2,3	0,6	0,1	5,0	3,3	3,4	8,4	40,0	2,8	3,5	7,4

Após a obtenção dos dados, foram realizadas análises preliminares para a verificação das pressuposições para realizar as análises de variância. Diante do atendimento dos pressupostos os dados foram submetidos às análises de variância individuais para cada ambiente, para cada característica, obtendo informações da significância dos efeitos assim como as estimativas das médias dos genótipos. Todas as análises descritas acima foram realizadas por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

A partir das médias dos genótipos avaliados em cada ambiente, foram estimadas as correlações fenotípicas entre os caracteres agronômicos em uma primeira análise, posteriormente foram estimadas as correlações fenotípicas entre os componentes de produção. As significâncias das correlações fenotípicas foram verificadas via *bootstrap* (CRUZ, 2013).

Para a análise de trilha, as matrizes das correlações fenotípicas das variáveis explicativas foram previamente diagnosticadas quanto à

multicolinearidade. Para tanto, foi empregado o teste do número de condição da matriz (NC), conforme proposto por Montgomery e Peck (1981), o qual consiste na razão entre o maior e menor autovalor da matriz de correlação. A multicolinearidade é considerada fraca quando NC é menor que 100, moderada a forte se  $100 < NC < 1.000$  e severa se  $NC > 1.000$ . No presente trabalho NC foi considerada de moderada a forte. A análise de trilha foi realizada em diagrama causal de uma cadeia. Para os caracteres agronômicos, a produtividade de grãos foi utilizada como variável básica, e os demais caracteres como variáveis explicativas. Para os componentes de produção, de forma análoga para os caracteres agronômicos, a produtividade de grãos foi utilizada como variável básica, e os demais componentes como variáveis explicativas. Para estimar as correlações fenotípicas, assim como para realizar a análise de trilha foi utilizado o Aplicativo Computacional em Genética e Estatística – Programa GENES (CRUZ, 2013).

### 3 RESULTADOS

As estimativas das correlações fenotípicas para os dois ambientes, considerando os caracteres agronômicos e os componentes de produção, ficaram dentro do espaço paramétrico esperado (1 a -1), permitindo inferências sobre os caracteres (Tabela 2 e 5).

Observa-se que dentre as correlações fenotípicas estimadas entre os caracteres agronômicos, 53% e 77% dessas correlações foram significativas para o ambiente baixo N e alto N, respectivamente (Tabela 2).

Para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo as estimativas das correlações fenotípicas dos diversos caracteres agronômicos com a produtividade de grãos variaram de 0,73 a -0,72 (Tabela 2). Todas as



estimativas foram significativas, exceto para a correlação entre teor de clorofila e a produtividade de grãos. Observa-se que as maiores estimativas foram para a correlação entre altura de plantas e produtividade de grãos e entre florescimento feminino e produtividade de grãos, porém, esta última com efeito negativo.

Todavia, para o ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo, as estimativas das correlações fenotípicas variaram de 0,73 (TC e PROD) a -0.69 (FFEM e PROD), sendo todas as estimativas significativas (Tabela 2).

Para os caracteres diâmetro de colmo, altura de plantas, florescimento feminino e *stay-green*, as estimativas da correlação fenotípica com a produtividade de grãos foram de maiores magnitudes para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo quando comparado com as estimativas do ambiente com alto N (Tabela 2). Para o caráter teor de clorofila nas folhas a estimativa da correlação fenotípica com a produtividade de grãos foi de maior magnitude para o ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo quando comparado com o ambiente de baixa disponibilidade (Tabela 2).

**Tabela 2** Correlações fenotípicas para genótipos de milho desenvolvidos em ambientes com baixa (acima da diagonal) e alta (abaixo da diagonal) disponibilidade de nitrogênio no solo, para as características altura de espigas (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de plantas (AP), *stay-green* (SG), prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM), produtividade de grãos (PROD) e teor médio de clorofila (TC)

	AE	DC	SAN	AP	SG	PROL	FMAS	FFEM	PROD	TC
AE	-	0,56**	-0,00	0,92**	-0,47*	0,06	-0,58**	0,62**	0,68**	0,05
DC	0,40*	-	-0,04	0,59**	-0,52**	0,18	-0,35*	-0,45*	0,63**	0,23
SAN	-0,09	-0,20	-	-0,00	0,18	-0,18	0,02	0,015	-0,26*	-0,26*
AP	0,94**	0,44*	-0,09	-	-0,60**	0,20	-0,49**	0,61**	0,73**	-0,00
SG	-0,31*	-0,35*	0,37*	-0,41*	-	-0,14	0,23	0,34*	-0,66**	0,07
PROL	0,06	0,14	-0,26*	0,02	-0,05	-	-0,07	-0,28*	0,30*	0,19
FMAS	-0,41*	-0,52**	0,16	-0,34*	0,34*	-0,19	-	0,88**	-0,55**	-0,04
FFEM	-0,47*	-0,59**	0,27*	-0,43*	0,47*	-0,22	0,92**	-	-0,72**	-0,10
PROD	0,68**	0,58**	-0,37*	0,68**	-0,59**	0,44*	-0,64**	-0,69**	-	0,13
TC	0,49**	0,52**	-0,26*	0,49**	-0,42*	-0,56**	-0,58**	-0,58**	0,73**	-

\*,\*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste bootstrap.

Por meio do diagrama causal utilizado todas variáveis explanatórias ou causais, exceto o florescimento feminino, apresentaram baixa explicabilidade da produtividade de grãos (Tabela 3 e 4). As magnitudes dos efeitos de variação residuais foram de 0,35 e 0,45 para os ambientes com alta e baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, respectivamente.

Apenas para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio, o caráter florescimento feminino apresentou maior efeito direto, porém, negativo (-0,47) sobre a variável principal produtividade de grãos (Tabela 4). Para os demais caracteres, independente da disponibilidade de N no solo, foi observado que as estimativas dos efeitos diretos não foram superiores aos efeitos de variação residual (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 3** Estimativas dos efeitos diretos (D) e indiretos (I) das variáveis primárias, altura de espigas (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de plantas (AP), *stay-green* (SG), prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM) e teor de clorofila nas folhas (TC) sobre a variável principal, produtividade de grãos (PROD) mensuradas em genótipos de milho desenvolvidos em ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo

EFEITO		AE	DC	SAN	AP	SG	PROL	FMAS	FFEM	TC
D	PROD	0,18	0,09	-0,08	0,21	-0,25	0,30	-0,31	0,13	0,15
I	AE	-	0,07	-0,01	0,17	-0,05	0,01	-0,07	-0,08	0,09
I	DC	0,03	-	-0,01	0,04	-0,03	0,01	-0,05	-0,05	0,05
I	SAN	0,00	0,01	-	0,00	-0,03	0,02	-0,01	-0,02	0,02
I	AP	0,20	0,09	-0,01	-	-0,09	0,00	-0,07	-0,09	0,10
I	SG	0,07	0,08	-0,09	0,10	-	0,01	-0,08	-0,12	0,10
I	PROL	0,01	0,04	-0,08	0,00	-0,01	-	-0,05	-0,06	0,09
I	FMAS	0,12	0,16	0,05	0,10	-0,10	0,06	-	-0,29	0,17
I	FFEM	-0,06	-0,08	-0,03	-0,05	0,06	-0,03	0,12	-	-0,07
I	SPAD	0,07	0,08	-0,04	0,07	-0,06	0,04	-0,08	-0,09	-
<sup>*</sup> R <sup>2</sup>		0,87								
<sup>&amp;</sup> EVR		0,35								

<sup>\*</sup>R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação; <sup>&</sup>EVR – Efeito da variação residual

**Tabela 4** Estimativas dos efeitos diretos (D) e indiretos (I) das variáveis primárias, altura de espigas (AE), diâmetro do colmo (DC), sanidade (SAN), altura de plantas (AP), *stay-green* (SG), prolificidade (PROL), florescimento masculino (FMAS), florescimento feminino (FFEM) e teor de clorofila nas folhas (TC) sobre a variável principal, produtividade de grãos (PROD) mensuradas em genótipos de milho desenvolvidos em ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo

EFEITO		AE	DC	SAN	AP	SG	PROL	FMAS	FFEM	TC
D	PROD	0,14	0,13	-0,11	0,09	-0,30	0,05	0,12	-0,47	0,02
I	AE	-	0,08	-0,00	0,13	-0,07	0,01	-0,08	-0,09	0,00
I	DC	0,07	-	-0,00	0,08	-0,07	0,02	-0,04	-0,06	0,03
I	SAN	0,00	0,00	-	0,00	-0,02	0,02	-0,00	-0,01	0,02
I	AP	0,08	0,05	-0,00	-	0,05	0,01	-0,04	-0,05	-0,00
I	SG	0,14	0,16	-0,05	0,18	-	0,04	-0,07	-0,10	-0,02
I	PROL	0,00	0,01	-0,01	0,01	-0,00	-	-0,00	-0,01	0,10
I	FMAS	-0,06	-0,04	0,00	-0,06	-0,02	-0,00	-	0,10	-0,00
I	FFEM	0,29	0,21	-0,07	0,29	-0,16	0,13	-0,41	-	0,05
I	SPAD	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	-
<sup>*</sup> R <sup>2</sup>		0,79								
<sup>&amp;</sup> EVR		0,45								

<sup>\*</sup> Coeficiente de determinação; <sup>&</sup> EVR – Efeito da variação residual

Para os componentes de produção, as estimativas da correlação fenotípica entre os caracteres com a produtividade de grãos variaram de 0,39 a 0,84 e de 0,32 a 0,81 para o ambiente com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo, respectivamente (Tabela 5). Foi observado que a maior magnitude das correlações fenotípicas, no ambiente baixo N, para com a produtividade de grãos foi devido ao número de grãos por fileira. Isso indica que esse é um importante componente para se avaliar em ambientes com déficit de nitrogênio.

As estimativas das correlações fenotípicas entre peso de espigas com a produtividade de grãos e peso de espigas com o peso de cem grãos apresentaram menores magnitudes para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo quando comparado com o ambiente com alto N (Tabela 5).

**Tabela 5** Correlações fenotípicas para genótipos de milho desenvolvidos em ambientes com baixa (acima da diagonal) e alta (abaixo da diagonal) disponibilidade de nitrogênio no solo, para as características peso de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras (NF), peso de cem grãos (PCEM), profundidade de grãos (PF) e produtividade de grãos (PROD)

	PE	CE	GF	NF	PCEM	PROF	PROD
PE	-	0,40*	0,52**	0,56**	0,51**	0,65**	0,55**
CE	0,87**	-	0,89**	0,18	0,78**	0,63**	0,77**
GF	0,86**	0,92**	-	0,28*	0,79**	0,78**	0,84**
NF	0,21	-0,02	0,07	-	0,17	0,56**	0,39*
PCEM	0,82**	0,82**	0,69**	0,00	-	0,73**	0,82**
PROF	0,81**	0,68**	0,75**	0,42*	0,70**	-	0,81**
PROD	0,81**	0,73**	0,74**	0,32*	0,68**	0,77**	-

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste bootstrap.

Por meio da análise de trilha dos componentes de produção, observa-se que nenhuma variável explanatória, independente da disponibilidade de nitrogênio no solo, apresentou satisfatória explicabilidade da produtividade de grãos, seja de forma direta ou indireta (Tabelas 6 e 7).

**Tabela 6** Estimativa dos efeitos diretos (D) e indiretos (I) das variáveis primárias, peso de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras (NF), peso de cem sementes (PCEM) e profundidade de grãos sobre a variável principal produtividade de grãos (PROD) mensuradas em genótipos de milho desenvolvidos em ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo

EFEITO		PE	CE	GF	NF	PCEM	PROD
D	PROD	0,29	0,20	0,10	0,17	0,05	0,20
I	PE	-	0,25	0,25	0,06	0,24	0,23
I	CE	0,17	-	0,18	-0,00	0,16	0,13
I	GF	0,08	0,09	-	0,00	0,06	0,07
I	NF	0,03	-0,00	0,01	-	0,00	0,07
I	PCEM	0,04	0,04	0,04	0,00	-	0,04
I	PROD	0,16	0,14	0,15	0,08	0,14	-
* R <sup>2</sup>		0,71					
&EVR		0,53					

\* Coeficiente de determinação; & EVR – Efeito da variação residual

**Tabela 7** Estimativa dos efeitos diretos (D) e indiretos (I) das variáveis primárias peso de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras (NF), peso de cementes (PCEM) e profundidade de grãos (PROF) sobre a variável principal produtividade de grãos (PROD) mensuradas em genótipos de milho desenvolvidos em ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo

EFEITO		PE	CE	GF	NF	PCEM	PROF
D	PROD	-0,02	0,05	0,31	0,13	0,37	0,19
I	PE	-	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
I	CE	0,02	-	0,04	0,00	0,04	0,03
I	GF	0,16	0,28	-	0,08	0,25	0,24
I	NF	0,07	0,02	0,03	-	0,02	0,07
I	PCEM	0,19	0,29	0,30	0,06	-	0,27
I	PROF	0,12	0,12	0,15	0,11	0,14	-
* R <sup>2</sup>		0,81					
&EVR		0,42					

\* Coeficiente de determinação; &EVR – Efeito da variação residual

As magnitudes dos efeitos diretos dos componentes de produção variaram de -0,02 a 0,37 para o ambiente baixo N e de 0,05 a 0,29 para o ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo (Tabelas 6 e 7).

## 4 DISCUSSÃO

### Caracteres agronômicos

A tolerância ao N está relacionada à redução da produtividade dos genótipos desenvolvidos em condições de déficit desse nutriente no solo quando comparado com a produtividade dos mesmos genótipos desenvolvidos em condições ideais de suplementação de N (MAIA et al., 2011). Já a



responsividade pode ser definida como a capacidade da planta em responder favoravelmente ao aumento da disponibilidade de N (BLAIR, 1993). De maneira geral, a diferença no percentual de significância das estimativas de correlações fenotípicas entre os ambientes pode ser devido ao controle genético da tolerância e responsividade ao N serem diferentes (MAIA et al., 2011). Sendo assim, a expressão dos genes é diferente, relativo ao nível de N disponível para as plantas, o que pode alterar as associações lineares entre os caracteres. Contudo, resultados diferentes foram reportados na literatura. Tem sido observado que existe uma maior correlação entre características em ambientes com déficit de nitrogênio (BERTIN; GALLAIS, 2000), e que isso se deve ao fato de que em ambientes normais de disponibilidade de N, os órgãos da planta não precisam competir pela utilização desse nutriente (GALLAIS; COQUE, 2005).

A produtividade de grãos é uma das principais características avaliadas em programas de melhoramento de plantas. Sendo assim, como a eficiência do uso do nitrogênio pode ser inferida a partir dessa característica (CIAMPITTI; VYN, 2012; GALLAIS; COQUE, 2005; GUEDES et al., 2014), é notório que o estudo da correlação fenotípica das demais características agronômicas com a produtividade de grãos possui fundamental importância.

A correlação entre a altura de plantas e a produtividade de grãos alta e significativa no ambiente de baixa disponibilidade de N pode ser justificada em função de plantas com maior altura possuírem maior capacidade de armazenamento de fotoassimilados nas estruturas como caule e folha. Com isso, durante a fase de enchimento de grãos, estes podem ser translocados para os grãos. Progenies  $S_1$  apresentaram correlação positiva, com magnitude de 0,41, entre a altura de plantas e a produtividade de grãos para o ambiente com baixa disponibilidade de N (AJALA et al., 2010). Já para o ambiente com alto N, o valor dessa correlação foi de menor magnitude quando comparado com o

ambiente de baixo N. Os resultados reportados por Ajala et al. (2010) também foram semelhantes com os observados no presente trabalho.

O valor alto e negativo da correlação fenotípica entre *stay-green* e a produtividade de grãos para o ambiente de baixo N evidencia a importância dessa característica na identificação de genótipos com maior tolerância ao déficit de N no solo. Plantas que apresentam senescência retardada das folhas podem continuar realizando fotossíntese durante a fase de enchimento de grãos, aumentando a produtividade de grãos. Valores semelhantes foram reportados por Ajala et al. (2010) para progênies S<sub>1</sub> de milho.

A alta magnitude e significância da estimativa da correlação entre florescimento feminino e a produtividade de grãos para ambos os ambientes, evidencia que essa característica pode ser utilizada para a seleção de genótipos com maior tolerância ou responsividade ao N. A correlação fenotípica entre florescimento feminino e produtividade de grãos foi significativa e com magnitude de -0,18 quando foram avaliadas progênies de irmãos germanos em ambiente com baixa disponibilidade de N no solo (KUMAR; JOSHI; DAGLA, 2013).

A correlação entre teor de clorofila e a produtividade de grãos no ambiente de alto N foi de alta magnitude e significativa, evidenciando que o teor de clorofila nas folhas pode ser utilizado para identificar genótipos com maior responsividade à adubação nitrogenada. O teor de clorofila presente nas folhas e a leitura com o medidor portátil de clorofila no estágio de 10 a 11 folhas expandidas em milho correlacionaram-se positivamente com o teor de N nas folhas (ARGENTA et al., 2001). A estimativa do teor de clorofila por meio das leituras do SPAD 502 tem sido utilizada como um dos parâmetros de avaliação visando à seleção de genótipos mais eficientes no uso do N (HEINZ et al., 2012; MIRANDA et al., 2005) e na caracterização de populações e cultivares de milho (GODOY et al., 2013; SOARES et al., 2011). A utilização das leituras é

eficiente para eliminar genótipos com baixa eficiência no uso do N, não sendo um parâmetro acurado para selecionar genótipos com maior eficiência no uso do N (MIRANDA et al., 2005). Todavia, o teor de clorofila presente nas folhas das plantas de milho teve correlação significativa e positiva com a produtividade de grãos, com magnitude de 0,63, por conseguinte, as leituras do SPAD 502 podem ser utilizadas para auxiliar no descarte de linhagens pouco produtivas em ambientes com baixa disponibilidade de N (SOARES et al., 2011).

Para fins de melhoramento de uma característica com baixa herdabilidade, é importante identificar, dentre os caracteres com alta correlação com essa variável básica, aquele de maior efeito direto, de tal forma que a seleção indireta seja eficiente (CRUZ, REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Por meio da análise de trilha, de todos os caracteres agronômicos avaliados no ambiente baixo N, o florescimento feminino teve maior efeito direto, todavia em sentido desfavorável sobre a produtividade de grãos. Isso indica que a seleção indireta de genótipos de milho com menor exigência térmica para a emissão do estilo estigma pode resultar em ganhos na produtividade de grãos em ambientes com déficit de nitrogênio no solo.

Os demais caracteres não se mostram como boas características para praticar a seleção indireta, visto que eles apresentaram baixas magnitudes dos efeitos diretos sobre a produtividade de grãos. Nesse caso, os fatores causais indiretos devem ser considerados simultaneamente no processo de seleção.

Já para o ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo, nenhuma das características avaliadas apresentou efeitos diretos satisfatórios sobre a produtividade de grãos. Desse modo, conforme salientado para o ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, a seleção indireta visando ao aumento da produtividade de grãos poderá não ser eficiente levando em consideração as características agronômicas avaliadas.

Foi observado que para a maioria dos caracteres agronômicos, independente da disponibilidade de nitrogênio no solo, a correlação dos mesmos com a produtividade de grãos foi significativa. Todavia, quando esses valores foram decompostos em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha, verificou-se que os efeitos diretos apresentaram baixa explicabilidade da produtividade de grãos. Certamente nessa situação, os efeitos indiretos contribuíram para essa significância. Nesse caso, é proposto que a melhor estratégia a se adotar é realizar a seleção simultânea de caracteres, com ênfase também naqueles cujos efeitos indiretos são significativos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). No presente trabalho foi observado que nenhum caractere avaliado apresentou significância do efeito indireto via uma determinada característica auxiliar, por conseguinte, não seria possível obter ganhos satisfatórios na produtividade de grãos.

### **Componentes de produção**

Para os componentes de produção, no ambiente baixo N, foi observado que a produtividade de grãos está intimamente relacionada com o número de grãos por fileira, por apresentar alta e significativa magnitude da correlação fenotípica. Tem sido argumentado que a taxa de aborto de embriões na espiga aumenta com o nível de estresse por N (GALLAIS; COQUE, 2005). Após a fertilização há um grande aumento na necessidade da planta por fotoassimilados. Acredita-se que a redução na quantidade de fotoassimilados produzidos pelas plantas em ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio no solo pode estar relacionado a essa taxa de aborto, porém, essa hipótese ainda não está totalmente elucidada (GALLAIS; COQUE, 2005). Avaliando híbridos simples de milho, Li et al. (2011) observaram que o número de grãos por espiga foi correlacionado positivamente com a produtividade de grãos, apresentando

maiores magnitudes no ambiente com baixa disponibilidade de N no solo. Resultados diferentes foram reportados por Haegele et al. (2013), quando os autores avaliaram híbridos simples produzidos durante quatro décadas de melhoramento e por Kumar, Joshi e Dagla (2013), os quais avaliaram progênes de irmãos germanos. Foi observado que as correlações do número de grãos por espiga com a produtividade de grãos foi maior no ambiente com alta disponibilidade de nitrogênio no solo, quando comparado com o ambiente com baixa disponibilidade de N.

A baixa magnitude da correlação entre peso de espigas e produtividade de grãos para o ambiente de baixo N evidencia que essa característica não é acurada para mensurar a produtividade de grãos em sistemas de cultivo com baixa disponibilidade de N no solo. Sendo assim, a estimativa da produtividade de grãos na experimentação nessas condições precisa ser cautelosa, não sendo possível inferir sobre a mesma por meio do peso de espiga despalhadas. Nesse caso o peso do sabugo pode inflacionar as estimativas, aumentando o erro experimental. Esse fato pode ser reforçado observando a magnitude da correlação entre o peso de espiga e o peso de cem grãos. Todavia, em ambientes com níveis normais de disponibilidade de nitrogênio no solo, o peso de espigas despalhadas pode ser utilizado para se inferir sobre a produtividade de grãos. Resultados diferentes foram reportados por Fidelis, Miranda e Faluba (2010). Os autores avaliaram genótipos oriundos dos cruzamentos entre diferentes populações de milho. Foi verificado que a correlação fenotípica entre o peso de espigas e produtividade de grãos, em ambiente com baixa disponibilidade de N no solo, foi de 0,998.

O uso da análise de trilha para verificar a influência dos efeitos diretos e indiretos dos componentes de produção sobre a produtividade de grãos em condições normais de cultivo tem sido relatado na literatura. Verifica-se que essa influência é inerente de cada genótipo (LOPES et al., 2007), o que pode

dificultar o trabalho dos melhorista que visa aumentar a produtividade de grãos por meio da seleção indireta de outros caracteres. Por meio dos nossos resultados foi visto que, embora os efeitos diretos e indiretos não tenham apresentado magnitudes satisfatórias de explicabilidade sobre a produtividade de grãos, observou-se que os efeitos citados apresentaram valores diferentes entre os ambientes. Para o ambiente baixo N o número de grãos por fileira e peso de cem grãos apresentaram valores superiores dos efeitos diretos quando comparado com os valores das mesmas características no ambiente alto N. Já para o ambiente alto N, os componentes peso de espiga e comprimento de espiga, apresentaram maiores magnitudes dos efeitos diretos quando comparado com o ambiente baixo N.

## **5 CONCLUSÕES**

A correlação fenotípica do teor de clorofila e a produtividade de grãos foi significativa somente para o ambiente alto N, indicando que essa característica pode ser utilizada na seleção de genótipos mais responsivos ao N.

O florescimento feminino, para o ambiente baixo N, apresentou efeito direto sobre a produtividade de grãos, o que ressalta a importância de selecionar genótipos com emissão do estilo estigma mais precoce visando ao aumento na produtividade de grãos nesse ambiente.

## REFERÊNCIAS

AGROCERES. **Guia agroceres de sanidade**. São Paulo: Sementes Agroceres, 1996. 72 p.

AJALA, S. O. et al. Full-sib vs S<sub>1</sub> selection scheme for the improvement of a maize population for tolerance to low soil nitrogen. **Maydica**, Bergamo, v. 55, p. 239-248, 2010.

ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético de plantas**. São Paulo: E. Lucher, 1971. 381 p.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

BERTIN, P.; GALLAIS, A. Genetic variation for N use efficiency in a set of recombinant inbred lines. I. Agrophysiological results. **Maydica**, Bergamo, v. 45, p. 53-66, 2000.

BERTRÁN, F. J. et al. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 807-817, 2003.

BLAIR, G. J. Nutrient efficiency: what do we really mean. In: RANDALL, P. J. et al. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 205-213.

CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Physiological perspective of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 133, p. 48-67, 2012.

COSTA, E. N. F. et al. Herança da senescência retardada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 207-213, 2008.

CRUZ, C.D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG. UFV, 2013. 285 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 579 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. v. 1, 480 p.

FIDELIS, R. R.; MIRANDA, G. V.; FALUBA, J. S. Capacidade de combinação de populações de milho tropicais sob estresse de baixo nitrogênio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 358-366, maio/jun. 2010.

GALLAIS, A.; COQUE, M. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: a synthesis. **Maydica**, Bergamo, v. 50, p. 531-547, 2005.

GODOY, C. L. et al. Methods to classify maize cultivars in use efficiency and response to nitrogen. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 5, p. 699-705, set./out. 2013.



GUEDES, F. L. et al. Inheritance of nitrogen use efficiency in inbred progenies of tropical maize based on multivariate diallel analysis. **The Scientific World Journal**. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/894710/>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

GUEDES, F. L. et al. Evaluation of maize top crosses under two nitrogen levels. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1115-1121, Nov./Dec. 2011.

HAEGELE, J. W. et al. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 1256-1268, July/Ago. 2013.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. 663 p.

HEINZ, R. et al. Seleção de progênies de meios-irmãos de milho para eficiência no uso de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 731-739, out./dez. 2012.

KUMAR, N.; JOSHI, V. N.; DAGLA, M. C. Multivariate analysis for yield and its component traits in maize (*Zea mays* L.) under high and low N levels. **The Bioscan**, Sóchi, v. 8, n. 3, p. 959-964, 2013.

KANT, S.; BI, Y. M.; ROTHSTEIN, S. J. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 1499-1509, 2011.

LI, L. et al. Estimation of quantitative genetic and stability parameters in maize under high and low N levels. **Maydica**, Bergamo, v. 56, p. 25-34, 2011.

LOPES, S. J. Et al. Relação de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, nov./dez. 2007.

MAIA, C. et al. The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 11, p. 270-275, 2011.

MIRANDA, G. V. et al. Selection of discrepant maize genotypes for nitrogen use efficiency by a chlorophyll meter. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 5, p. 451-459, 2005.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, May/June 1982.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. 1 Software.

SADRAS, V. O.; LEMAIRE, G. Quantifying crop nitrogen status for comparisons of agronomic practices and genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 164, p. 54-64, 2014.

SILVA, S. A. et al. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 191-196, 2005.

SILVA, W. C. M. et al. Temperatura do ar e a duração dos estádios fenológicos do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETRIA, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: [s. n.], 2001. 1 CD ROM.

SOARES, M. O. et al. Parâmetros genéticos de uma população de milho em níveis contrastantes de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 139-148, 2011.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.

**ANEXOS**

**Tabela 11A** Resumo da análise de variância individual para o ambiente com alto nível de nitrogênio para o peso de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras (NF), peso de cem grãos (PCEM) e profundidade de grãos (PROF)

FV	GL	QM					
		ALTO N					
		PE	CE	GF	NF	PCEM	PROF
<b>Bloco</b>	2	0,0004	0,1564	0,0585	3,6692	0,7093	7,5111
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	0,0129**	17,7597**	152,3171**	5,6938**	91,81**	43,1034**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	0,0001	2,7446	22,0715*	2,3466	6,9023	2,9533
<b>Pais</b>	3	0,006	8,9890*	38,5808*	10,0371**	56,8580**	21,3492*
<b>Recíprocos</b>	5	0,0053*	3,5894*	71,3746**	4,8568**	17,6869*	14,3494*
<b>Testemunhas</b>	3	0,0228**	18,5138**	113,3558**	12,6326**	133,3077**	63,2938**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	0,0164**	11,7706*	279,4225**	3,1667*	10,4050	81,1880**
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	0,0076*	24,5788**	356,9235**	0,5573	20,9242	13,8054*
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	0,0029	10,6580*	13,3388	3,8720*	67,8985*	4,6980
<b>Erro</b>	38	0,0010	1,1659	8,5467	0,6387	5,2596	2,5921
<b>CV (%)</b>		16,93	6,69	8,74	5,46	6,22	7,90
<b>Média</b>		0,194	16,13	33,44	14,61	36,84	20,35

\*, \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F; CV – coeficiente de variação

**Tabela 12A** Resumo da análise de variância individual para o ambiente com baixo nível de nitrogênio para peso de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras (NF), peso de cem grãos (PCEM) e profundidade de grãos (PROF)

FV	GL	QM					
		BAIXO N					
		PE	CE	GF	NF	PCEM	PROF
<b>Bloco</b>	2	0,0057	5,0918	59,9142	0,2177	3,9881	5,8853
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	0,0155**	17,0412**	156,2444**	6,0080**	90,3277**	31,6616**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	0,0017	4,1746*	27,6438*	7,2433**	5,1179	10,8910*
<b>Pais</b>	3	0,0461**	9,8456*	31,6299*	9,1307**	19,1797*	20,0472*
<b>Recíprocos</b>	5	0,0017	3,9048	42,6382*	2,1688*	1,4631	6,2643
<b>Testemunhas</b>	3	0,0150*	19,4155**	111,8622**	11,5333**	123,6470**	51,3440**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	0,0003	24,5339*	209,7655**	6,9388*	19,5465	33,9459*
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	0,0309*	37,3518**	307,67438**	7,9284*	263,1780**	34,6634*
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	0,0036	4,3879	59,7052*	1,4539	44,0320*	10,5676
<b>Erro</b>	38	0,0029	1,6727	7,7793	0,8317	5,7551	2,6717
<b>CV (%)</b>		27,72	8,02	8,42	6,19	6,89	8,21
<b>Média</b>		0,196	16,11	33,13	14,71	34,81	19,89

\*,\*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F; CV – coeficiente de variação

**Tabela 13A** Resumo da análise de variância conjunta entre os ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo para o peso de espiga (PE), comprimento de espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras (NF), peso de cem grãos (PCEM) e profundidade de grãos (PROF)

FV	GL	QM					
		PE	CE	GF	NF	PCEM	PROF
<b>Blocos/Níveis</b>	4	0,0031	2,6241	29,9864	1,9435	2,3487	6,6982
<b>Níveis (N)</b>	1	0,0001	33,7034	3,1521	0,2988	124,1269**	6,3514
<b>Genótipos/Tipos</b>	(19)	0,0220**	0,0062	302,1069**	10,8566**	173,7148**	70,3861**
<b>F<sub>1</sub></b>	5	0,0003	1,8939**	15,4266**	2,7652**	3,3606	3,0939**
<b>Pais</b>	3	0,0059**	5,5668**	19,4576**	6,1705**	22,7654**	11,0968**
<b>Recíprocos</b>	5	0,0019	2,0232**	35,1430**	2,21037**	3,5002	6,1443**
<b>Testemunhas</b>	3	0,0124**	12,4644**	72,6630**	7,9385**	85,2440**	37,9740**
<b>F<sub>1</sub> vs Rec</b>	1	0,0000	0,5492	1,0820	1,1812	3,8373	0,2080
<b>F<sub>1</sub> vs Pais</b>	1	0,0458**	88,6572**	930,2540**	0,1810	466,1612**	201,1155**
<b>F<sub>1</sub> vs Test</b>	1	0,0222**	36,2815**	362,4870**	0,9940	187,7462**	37,7015**
<b>Gen/Tipos*N</b>	(19)	0,0063*	1,0975	6,4546	0,8452	8,4300	4,3805
<b>F<sub>1</sub> x N</b>	5	0,0002	0,3225	1,1452	0,4315	0,6462	1,5209
<b>Pais x N</b>	3	0,0009	0,7115	3,9460	0,2188	2,5805	2,7020
<b>Recíprocos x N</b>	5	0,0003	0,4749	2,8620	0,1315	2,8832	0,7270
<b>Testemunhas x N</b>	3	0,0002	0,1787	2,4090	0,1169	0,4080	0,2390
<b>F<sub>1</sub> vs Rec x N</b>	1	0,0000	0,0108	0,8670	0,1078	0,1033	0,2297
<b>F<sub>1</sub> vs Pais x N</b>	1	0,0034	0,1649	0,1760	0,2718	0,2571	4,6496
<b>F<sub>1</sub> vs Test x N</b>	1	0,0013	0,0063	0,0060	0,6816	19,4351**	0,5376
<b>Erro</b>	76	0,0020	1,4193	8,1630	0,7352	5,5074	2,6319
<b>CV (%)</b>		23,02	7,38	8,58	5,84	6,54	8,06
<b>Média</b>		0,195	16,12	33,28	14,66	35,83	20,12

\*, \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo test F; CV – coeficiente de variação