



**MATHEUS HENRIQUE SILVEIRA MENDES**

**ANÁLISE DIALÉLICA DE HÍBRIDOS PARA  
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E  
BROMATOLÓGICAS DA FORRAGEM DE  
MILHO**

**LAVRAS - MG**

**2012**

**MATHEUS HENRIQUE SILVEIRA MENDES**

**ANÁLISE DIALÉLICA DE HÍBRIDOS PARA CARACTERÍSTICAS  
AGRONÔMICAS E BROMATOLÓGICAS DA FORRAGEM DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, na área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de mestre.

Orientador

Dr. João Cândido de Souza

**LAVRAS - MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Mendes, Matheus Henrique Silveira.

Análise dialéctica de híbridos para características agronômicas e  
bromatológicas da forragem de milho / Matheus Henrique Silveira  
Mendes. – Lavras : UFLA, 2012.

67 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: João Cândido de Souza.

Bibliografia.

1. Milho forrageiro. 2. Cruzamento dialélico. 3. Melhoramento  
genético de plantas. 4. Genética quantitativa. 5. Características. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.523

**MATHEUS HENRIQUE SILVEIRA MENDES**

**ANÁLISE DIALÉLICA DE HÍBRIDOS PARA CARACTERÍSTICAS  
AGRONÔMICAS E BROMATOLÓGICAS DA FORRAGEM DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, na área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2012.

Dr. Fausto de Souza Sobrinho            UFLA

Dr. João Cândido de Souza            UFLA

Dr. Renzo Garcia Von Pinho            UFLA

Dr. João Cândido de Souza  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2012**

*A Deus, por iluminar meus pensamentos, me dando calma e sabedoria para encarar os desafios.*

*Aos meus pais, Jaime e Ana Maria, pelo apoio, dedicação e pelos valiosos ensinamentos.*

*Ao meu avô, Honório (in memoriam) e minha avó, Ana (in memoriam), por todo o carinho e atenção. Creio que onde estejam estão felizes pelo que me tornei.*

*Ao meu irmão, Marco Aurélio, pela amizade e companheirismo.*

*Aos amigos, que aos poucos se tornaram tão especiais.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao pessoal do “milho”, Carlos Henrique, Rodrigo Balbi, Guilherme Abreu, Fernando Guedes, Paulo Eduardo, Amanda Avelar, Camilinha, Rafael, Juninho, Murilo, Carlão, Lucas e Renato, pela ajuda na condução dos experimentos.

Aos colegas de mestrado, em especial os amigos Breno, Juninho e Guilherme, pelas inesquecíveis horas de estudo e pela grande amizade construída.

Aos professores César Brasil, João Bosco, João Cândido, Magno e José Airton, incansáveis ao repassar todo o seu conhecimento.

Ao meu orientador João Cândido de Souza, pelos conhecimentos passados e principalmente pela amizade construída.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos, tornando possível a realização deste trabalho.

Ao pesquisador Fausto de Souza Sobrinho e a Embrapa Gado de Leite, pela disponibilidade para a realização das análises bromatológicas da forragem.

Ao professor Marcos Neves Pereira, pelos valiosos conselhos.

Aos funcionários de campo Léo, Lindolfo e José Carlinhos, pela ajuda na condução dos experimentos de campo.

Aos amigos da antiga república, Álvaro, Helon e Raul, e também da nova, Bráulio e Marco Aurélio, pelo companheirismo e amizade.

A todas as pessoas que me auxiliaram, direta ou indiretamente, de maneira que hoje posso estar saboreando mais esta conquista.

Meu muito obrigado.

*A melhor forma de melhorar o padrão de vida está em melhorar o padrão de pensamento.*

U. S. Andersen

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar populações de milho originadas do cruzamento entre seis híbridos comerciais, escolhidos com base em informações relacionadas ao seu desempenho e potencial produtivo, para produção de forragem. As populações foram avaliadas em duas épocas de plantio (safra e safrinha), no ano agrícola 2010/2011, na fazenda experimental da Universidade Federal de Lavras, no município de Ijaci – MG. Foram avaliadas 36 populações (15 F1's, os recíprocos e os genitores), no delineamento em blocos completos casualizados, com três repetições. Foram mensuradas as seguintes características: produtividade de matéria verde, produtividade de matéria seca, número de folhas acima da espiga superior, diâmetro de colmos, altura de plantas, produtividade de espigas despalhadas, teor de fibra em detergente neutro e ácido, teor de lignina e digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Foram observadas diferenças significativas entre os cruzamentos para as características relacionadas à produtividade de forragem e para produtividade de espigas despalhadas. Para as características relacionadas ao valor nutricional da forragem não foram identificadas diferenças significativas entre os cruzamentos. Entre os genitores foram detectadas diferenças significativas para todas as características, exceto para a digestibilidade *in vitro* da matéria seca. O cultivo na safrinha resultou em perdas tanto em produtividade quanto em valor nutricional da forragem. Para as características relacionadas à produtividade, tanto os efeitos da CGC quanto os efeitos da CEC foram significativos, assim como foi verificada superioridade dos cruzamentos em relação aos parentais, indicando a presença de heterose. Como populações promissoras para produção e digestibilidade da forragem destacaram-se o genitor AG 4051 e o cruzamento DOW 8420 x AG 8060, que reúnem fenótipos favoráveis para as características de interesse.

Palavras-chave: Milho. Cruzamentos dialélicos. Forragem. Digestibilidade.



## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate maize populations from mating six commercial hybrids, selected to performance, yielding potential and nutritional value of the forage. These populations was evaluated in two growing seasons (2010, December and 2011, January), at the Federal University of Lavras agricultural research station, in the county of Ijaci – MG. Were evaluated 36 populations (15 hybrids, the reciprocals and the parental), at the complete block design, with three reps. Were measured the following traits: green matter yield, whole plant dry matter, plant height, stem diameter, number of leaves above the ear, ear yield, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin and dry matter in vitro digestibility. Were observed significant differences among the crossings for the traits related to forage yielding and ear yielding. For the nutritive value traits of the forage, weren't identified significant differences among the crossings. For the parental genotypes, were identified significant differences for all the traits, except for dry matter in vitro digestibility. The growing in the off-season results in losses in yielding and nutritive value of the forage. For the yielding traits, the effects of GCA and SCA were significant, and were identified crossings with more yield than the parental, indicating the presence of heterosis. The parental AG 4051 and the crossing DOW 8420 x AG 8060 are promising populations for forage yield, because have good phenotypes for traits of interest.

Keywords: Maize. Mating designs. Forage. Digestibility.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1	<b>O milho na alimentação animal</b> .....	12
2.2	<b>Avaliação do valor nutricional da forragem</b> .....	15
2.3	<b>Melhoramento do milho para produção de forragem</b> .....	17
2.4	<b>Cruzamentos dialélicos</b> .....	23
2.5	<b>Seleção envolvendo vários caracteres</b> .....	26
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
3.1	<b>Local</b> .....	29
3.2	<b>Genótipos</b> .....	29
3.3	<b>Características avaliadas</b> .....	30
3.3.1	<b>Avaliação da produção e valor nutricional da forragem</b> .....	30
3.3.2	<b>Avaliação da produtividade de espigas despalhadas (PED)</b> .....	33
3.4	<b>Procedimentos estatístico-genéticos</b> .....	33
3.4.1	<b>Análise de variância</b> .....	33
3.4.2	<b>Análise dialélica</b> .....	35
3.5	<b>Seleção envolvendo várias características</b> .....	37
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
4.1	<b>Análise de variância</b> .....	38
4.2	<b>Análise dialélica</b> .....	47
4.3	<b>Seleção envolvendo várias características - Índice Z</b> .....	56
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	60
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

As plantas utilizadas como forrageiras, como por exemplo, as pastagens cultivadas, têm seu desenvolvimento variável conforme a época do ano. Esta variação ocorre para a produtividade e para o valor nutricional do alimento. Na região sul de Minas Gerais o inverno é seco, e dessa forma há necessidade de se complementar a dieta dos animais. Com as melhorias no manejo na pecuária de leite e de corte, o fornecimento de forragem de qualidade durante o ano todo passou a ser importante nos novos sistemas produtivos.

No sul de Minas Gerais prevalecem pequenas propriedades leiteiras, onde se utilizam a forragem conservada como complemento alimentar na estação seca, ou até em sistemas intensivos, sendo disponibilizada durante todo o ano para os animais.

O milho se destaca como volumoso devido à alta produtividade de matéria seca, à facilidade de cultivo e ao alto teor energético.

Para produção da forragem os agricultores utilizam cultivares disponíveis no mercado que possuem características agronômicas favoráveis a uma alta produção de grãos. No entanto nem sempre aquelas cultivares que apresentam alta produção de grãos devem ser recomendadas para produção de forragem (COORS; CARTER; HUNTER, 1994). Faz-se necessário então, que um programa de melhoramento de milho forrageiro se concentre também na avaliação do valor nutritivo da forragem (PEREIRA et al., 2011; TANG et al., 2008).

Dentre os diversos fatores que influenciam a digestibilidade da forragem de milho, a textura do grão figura entre os mais importantes. Segundo Pereira et al. (2004), a degradabilidade ruminal dos grãos de cultivares de textura dentada é maior em comparação com aquelas de textura dura. A forragem que tem melhor disponibilidade ruminal do amido é aquela confeccionada com cultivares

de textura dentada (CORRÊA et al., 2002; PEREIRA et al., 2004). No Brasil, a maioria das cultivares disponíveis possui grãos de textura dura. Para a safra 2011/2012 estavam disponíveis 489 cultivares, sendo apenas 5,7% destas de textura dentada (CRUZ; PEREIRA FILHO; SILVA, 2012). Esse cenário foi construído pelos melhoristas ao selecionarem genótipos com grãos duros para uma maior resistência à pragas de armazenamento, devido à demanda do mercado por cultivares com este tipo de endosperma.

Com a necessidade de cultivares que produzam forragem com alto valor nutritivo, alguns trabalhos foram conduzidos com objetivo de obter informações para que os melhoristas possam definir estratégias adequadas em seus programas. É o caso de Gomes et al. (2006), que estudou a variabilidade existente entre linhagens para caracteres relacionados à produção e o valor nutricional da silagem de milho. Segundo este autor, a melhor estratégia para sintetizar híbridos que produzam silagem com alto valor nutritivo é por meio do cruzamento de genitores que possuam alta degradabilidade de suas silagens.

A obtenção e a utilização de cultivares que associem alta produtividade de matéria seca e qualidade nutricional da forragem pode resultar em aumentos expressivos na produção de leite e carne de bovinos.

A utilização dos delineamentos de cruzamentos na escolha de populações é uma prática corriqueira entre os melhoristas. Um dos delineamentos mais utilizados é o dialélico. Pelas análises dialélicas é possível estimar os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC), que informam sobre a concentração de alelos de efeito aditivo e os efeitos da capacidade específica de combinação (CEC), que evidenciam a importância dos alelos que exibem efeitos não-aditivos ou predominantemente em dominância ou epistasia (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar um dialelo de híbridos para características agronômicas e bromatológicas da forragem.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O milho na alimentação animal**

No Brasil, segundo estimativas, a maior parte da produção de milho é destinada ao consumo animal, tanto para ruminantes quanto para não ruminantes (Gráfico 1). Nos Estados Unidos a maior parte da produção é dividida entre a produção de etanol e a produção animal (Gráfico 2). Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção de grãos na safra 2010/11 foi de 57,5 milhões de toneladas, sobre uma área plantada de 13,8 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011a), evidenciando a importância deste cereal para a agricultura brasileira. Para a safra 2011/12 há evidências de aumento da área plantada, sendo este aumento devido aos bons preços do cereal (CONAB, 2011b). Embora não haja dados recentes sobre a produção de silagem no Brasil, há indícios de que são semeados anualmente aproximadamente 1,1 milhões de hectares para este fim.

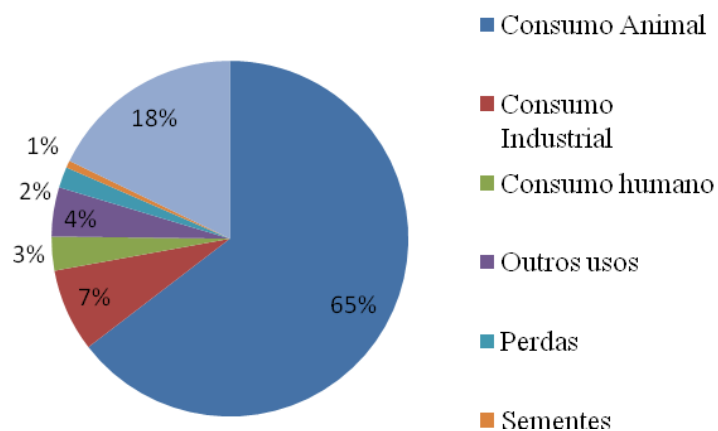


Gráfico 1 Demanda da produção de milho no Brasil, em 2011. Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Milho - ABIMILHO (2011)

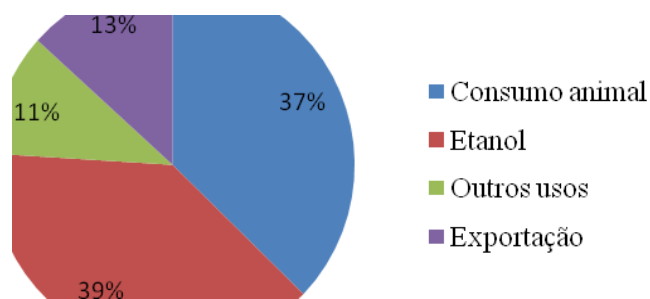


Gráfico 2 Demanda da produção de milho nos Estados Unidos, em 2011. Fonte: ABIMILHO (2011)

Na alimentação de animais não ruminantes como suínos e aves, a utilização do milho é um importante componente, sendo o principal alimento energético. Vários estudos visam à utilização de fontes alternativas para substituição do milho, entretanto, essas fontes não o substituem totalmente e o

produto final nem sempre atende às exigências do mercado. Neste sentido, Brum Júnior et al. (2007) verificaram que o desempenho frangos de corte não é prejudicado pela substituição do milho por 40% de quirela de arroz na dieta, porém é necessário o uso de pigmentante para uma carcaça mais colorida.

Para ruminantes, o milho pode participar da dieta como volumoso ou concentrado. Como volumoso, é utilizado como forragem conservada na forma de silagem, podendo ser utilizado tanto na época da seca ou em sistemas intensivos de produção. A silagem de milho tem alto valor energético quando comparada com outras forrageiras, atendendo até às exigências de animais de alta produção. Vacas consumindo silagem de milho têm maior produção de leite e também, maior teor de proteína no leite em relação à silagens de sorgo granífero e sacarino (NASCIMENTO et al., 2008). Este mesmo autor comenta ainda que o potencial produtivo do milho é superior ao do sorgo, porém a utilização desta cultura em condições adversas pode ser recomendada. A utilização de cana-de-açúcar *in natura* em substituição à silagem de milho em dietas completas para vacas em lactação produzindo, em média 24 kg de leite por dia, influenciou negativamente a produção de leite e a variação de peso corporal dos animais (MAGALHÃES et al., 2004). A utilização de dieta à base de silagem de milho promove maior produção de leite por unidade de matéria seca, o que demonstra uma maior eficiência desta dieta em relação à cana-de-açúcar *in natura* (QUEIROZ et al., 2008). A maior produção de leite pode ser atribuída ao maior consumo de matéria seca, ou seja, maior ingestão de nutrientes pelo animal (COSTA et al., 2005).

O milho também vem sendo utilizado sob a forma de silagem de grãos úmidos. Os grãos de milho são colhidos quando apresentam um teor de umidade próximo a 30%, sendo posteriormente triturados e armazenados em silos geralmente de tipo trincheira. A composição química da silagem de grãos úmidos de milho pode variar em função do teor de umidade no momento da

ensilagem e da proporção de sabugo presente, tamanho da partícula e também tipo de endosperma da cultivar em questão (BLASEL; HOFFMAN; SHAVER, 2006).

O aumento nos teores de umidade do milho aumenta a disponibilidade do amido favorecendo a fermentação ruminal, melhorando assim, a utilização da amônia ruminal e proporcionando mais energia para o animal (SAN EMETERIO et al., 2000). Os mesmos autores relataram que, as vacas que receberam grãos maduros de milho na dieta, produziram menos leite em relação a vacas alimentadas com silagem de grãos úmidos ou de espigas de milho.

## **2.2 Avaliação do valor nutricional da forragem**

Durante as últimas décadas, os programas de melhoramento levaram a um aumento substancial na produção de massa verde, pois a seleção era baseada em caracteres relacionados à produção de forragem (BARRIÉRE et al., 2004). No entanto, no mesmo período de tempo, ocasionaram diminuição na digestibilidade da parede celular e conseqüentemente, no valor nutritivo dos híbridos de milho, devido principalmente à seleção para baixo acamamento de plantas, o que indiretamente levava a aumentos nos teores de lignina no colmo (BARRIÉRE et al., 2005).

A digestibilidade de milho forrageiro é influenciada, do ponto de vista macroscópico, pelo conteúdo de grãos e digestibilidade de colmos e folhas, ou, do ponto de vista microscópico, pelo conteúdo celular e digestibilidade da parede celular (HUNT; KEZAR; VINANDE, 1992).

Os principais parâmetros empregados para a avaliação do valor nutricional da forragem de milho são os teores de fibra em detergente neutro (FDN), de fibra em detergente ácido (FDA), teor de lignina e a própria digestibilidade da forragem. A FDN é uma estimativa da porcentagem de parede



celular e é determinada pela digestão da forragem em solução de detergente neutro que solubiliza o conteúdo celular. A fração FDN contém majoritariamente celulose, hemicelulose e lignina. A FDA é uma estimativa de fibra pouco digestível, sendo determinada pela digestão da forragem em detergente ácido que solubiliza o conteúdo celular e a hemicelulose. Assim, a fração FDA contém majoritariamente celulose e lignina (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Assim, ganhos no valor nutricional da forragem estariam ligados ao melhoramento da digestibilidade da fibra (OBA; ALEN, 1999).

Ligninas são constituintes da parede celular resistentes à degradação por fungos e bactérias e interferem na digestão dos polissacarídeos da parede celular por uma barreira física as enzimas microbianas. Em plantas forrageiras, o conteúdo de lignina, a estrutura da lignina, como a composição monomérica das unidades p-hydroxyphenyl (H), guaiacyl (G) e syringyl (S) e a ligação entre componentes da parede celular, hemicelulose e celulose, influenciam diretamente a digestibilidade da parede celular (BARRIÈRE et al., 2003; PEDERSEN; VOGEL; FUNNELL, 2005). A seleção para baixos teores de lignina promove ganhos na digestibilidade da forragem, porém pode trazer prejuízos em caracteres agronômicos importantes.

A digestibilidade *in vivo* é determinada diretamente com animais, para os quais se fornece uma dieta conhecida e se pesam as excretas, calculando a porcentagem digerida por diferença entre o ingerido e o excretado pelo animal. Diante das dificuldades dos melhoristas de plantas de quantificarem a digestibilidade *in vivo*, pelas dificuldades de avaliação de um grande número de amostras, o método de avaliação mais comum entre os programas de melhoramento é o método de avaliação *in vitro*, com a utilização do líquido de rumén, realizado em laboratórios.

Para mensuração da degradabilidade da forragem também é utilizado o método da digestibilidade *in situ* da matéria seca, que consiste na utilização de vacas fistuladas para mensuração da degradação da matéria seca dentro do rúmen.

Outro método que vem sendo empregado utiliza a técnica de espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo (Near-Infrared Reflectance Spectroscopy-NIRS). No passado, o NIRS foi usado com sucesso na determinação de proteína, gordura e fibra de vários produtos e espécies vegetais (KAYS; WINDHAM; BARTON, 1996). Atualmente este método tem sido utilizado para avaliação de parâmetros ligados ao valor nutricional da forragem em diversas espécies vegetais (FONTANELI et al., 2009; RESTAINO et al., 2009).

### **2.3 Melhoramento do milho para produção de forragem**

No passado a ênfase na pesquisa para produção de forragem de milho era voltada apenas para produção de matéria verde, de forma que era dada preferência para cultivares de porte alto. Posteriormente, com o aperfeiçoamento do manejo, passou-se a considerar que a maior participação de grãos na forragem era de suma importância, já que o grão é a parte mais digestível da planta, passando a ser recomendadas para produção de forragem as melhores cultivares para a produção de grãos. Atualmente, o conceito de que a maior quantidade de grãos é que determina a qualidade do alimento já não é o único fator de interesse na escolha de uma cultivar, sendo de extrema importância a determinação da digestibilidade da forragem produzida (BARRIÈRE et al., 2003, 2004, 2005). Atualmente, no Brasil existem dificuldades para se obter informações sobre programas de melhoramento de milho específicos para produção de forragem, tanto na iniciativa pública como na iniciativa privada.

Para se iniciar um programa de melhoramento com determinado objetivo é importante verificar se existe variabilidade para os caracteres sob seleção, a fim de se selecionar a melhor população para se selecionar os genótipos de interesse (BERNARDO, 2002). O que se observa nas pesquisas com milho para a produção de forragem é que tanto para características agrônômicas como para características ligadas ao valor nutricional da forragem existem relatos na literatura de ampla variabilidade genética, o que possibilita antever a possibilidade de obtenção de ganhos com a seleção (BARRIÉRE et al., 2003; CAETANO et al., 2011; GOMES et al., 2004; PEREIRA et al., 2011; SILVA et al., 2003). Porém pouco foi feito com relação ao valor nutricional da forragem (LAUER; COORS; FLANNERY, 2001).

O valor nutricional da forragem é influenciado pela proporção dos componentes da planta, ou seja, pela proporção de folhas, colmo e espigas (PEREIRA et al., 2011; TANG et al., 2008), e estas proporções também são influenciadas pelo estágio fisiológico da planta (ZOPOLLATTO et al., 2009). Com relação à porcentagem de fibra em detergente ácido e neutro (FDA e FDN), existe potencial para a seleção de cultivares com baixos valores e para alta digestibilidade destas frações (ALLEN et al., 1991; BARRIÉRE et al., 2003).

Um programa de melhoramento deve focar nos componentes da parede celular, pois a ingestão e digestão da forragem, ou seja, o valor nutricional da forragem está intimamente ligado a estes componentes. A principal fração da parede celular que limita a digestão da forragem é a lignina (BARRIÉRE et al., 2003).

Barrière et al. (2010) demonstraram haver variabilidade tanto no germoplasma já submetido ao melhoramento quanto no germoplasma não melhorado para características relacionadas ao valor nutricional da forragem, como teores de fibra e digestibilidade da matéria seca, avaliando linhagens *per se* e também em top crosses. Este autor enfatiza a importância da introdução de

germoplasma, porém este método deve ser tomado com cuidado, pois caso este germoplasma não tenha sido melhorado, pode trazer prejuízos em caracteres agrônômicos importantes. Foi quantificada também a variação genética ao longo de 34 anos de melhoramento visando à produção de forragem de milho. Novamente é enfatizado o fato do melhoramento visando à produção de grãos e também a resistência ao acamamento de plantas ter influenciado negativamente a digestibilidade da forragem.

Pode-se também conseguir uma melhora expressiva na digestibilidade da forragem com a introdução de alelos mutantes. Um exemplo seria a utilização dos genes conhecidos como “brown midrib”, os quais são potencialmente melhoradores da digestibilidade da fibra. São conhecidos, na cultura do milho, cinco tipos de mutações “brown midrib” (bm1, bm2, bm3, bm4 e bm5) que reduzem o conteúdo de lignina e alteram sua composição, sendo que, dos “brown midrib” existentes, o bm3 parece ser o mais eficiente em reduzir o conteúdo de lignina, com redução média de 45% (SATTLER; FUNNELL-HARRIS; PEDERSEN, 2010). Entretanto, cultivares “brown midrib”, principalmente com bm3, apresentam baixo desempenho agrônômico. Em alguns casos, o ganho alcançado com o aumento na digestibilidade da fibra não chegou a refletir em ganhos no desempenho dos animais (TJARDES et al., 2000). Vale ressaltar que há relatos de ampla variação genética para o conteúdo e a composição da lignina em híbridos não mutantes.

Há também o interesse em realizar seleção para altos teores de proteína na forragem de milho, porém a seleção para esta característica não é muito considerada pelos melhoristas, uma vez que a silagem de milho é considerado um alimento energético, sendo que os baixos teores de proteína são normalmente compensados com a utilização de concentrados e compostos protéicos. Em relação ao efeito da qualidade dos grãos na digestibilidade do alimento, existem

trabalhos evidenciando a existência de variabilidade genética para a qualidade do amido no grão do milho (BARRIÈRE et al., 2004).

Um aspecto importante no melhoramento para a produção de forragem é o conhecimento da relação existente entre as características agronômicas e as características relacionadas ao valor nutricional da forragem. Características altamente associadas permitem a seleção baseada na característica de mais fácil avaliação, permitindo um ganho semelhante na outra característica (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005). Neste caso, isto é importante porque na avaliação do valor nutricional da forragem estão envolvidas análises laboratoriais, que além de trabalhosas, elevam o custo do programa. Estudos sobre a correlação entre estas características já foram realizados (MENDES et al., 2008). Este autor observou que é possível obter híbridos com alta degradabilidade da matéria seca da planta inteira, independente da textura do grão.

Um método eficiente para se obter híbridos que produzam silagem de alta qualidade é selecionar genitores com alta degradabilidade da matéria seca (MENDES et al., 2008). Gomes et al. (2004) observaram pouca influência da heterose na degradabilidade da matéria seca de híbridos de milho, prevalecendo os efeitos aditivos no controle do caráter, evidenciando novamente que a melhor estratégia seria a seleção de genitores com boa degradabilidade da matéria seca.

A cultivar ideal de milho para produção de forragem é aquela que associa alta produtividade e qualidade da matéria seca produzida (GOMES et al., 2004). Allen et al. (1991) observaram que a associação entre estas características, apesar de ser negativa, não é alta, permitindo antever a possibilidade de seleção de genótipos de alto valor nutricional sem penalizar parâmetros agronômicos. Ainda com relação à digestibilidade, como fator complicante, existe um conceito de que cultivares que apresentam melhor valor nutricional, ou seja, maior digestibilidade da forragem possuem maior

suscetibilidade para o acamamento e podridão do colmo. A maior digestibilidade do colmo está associada à menor concentração de lignina na parede celular do colmo, o qual reduz as estruturas de sustentação, tornando a planta mais suscetível ao acamamento e quebraimento. Deste modo, a composição e a digestibilidade do colmo são fatores críticos que influenciam a qualidade da planta como um todo, devendo ser enfatizados pelos programas de melhoramento.

Alguns trabalhos têm demonstrado o efeito da heterose para características relacionadas à produção de forragem. Lopez, Bertoia e Burak (2009), trabalhando com oito populações contrastantes verificaram a presença de heterose para caracteres relacionados à produção de forragem. Estes autores preconizam a formação de populações híbridas para início do programa de melhoramento.

Conforme pode ser observado, o melhoramento visando o desenvolvimento de cultivares para a produção de forragem é complexo, envolvendo a seleção para múltiplos caracteres, muitas vezes de relação desconhecida, de modo que os fenótipos favoráveis para estes caracteres devem ser incorporados conjuntamente em um determinado genótipo. Pode-se antever que é praticamente impossível associar, em uma única cultivar, todos os fenótipos favoráveis em apenas um único ciclo seletivo. No caso específico do melhoramento de milho para a produção de forragem, a seleção recorrente já foi utilizada com sucesso em algumas oportunidades (FREY et al., 2004; GUSTAFSON; COORS; DE-LEON, 2010; SILVA et al., 2003). Frey et al. (2004), trabalhando com duas populações, Wisconsin Fiber Silica High (WFISIHI) e Wisconsin Fiber Silica Low (WFISILO), realizaram quatro ciclos de seleção divergente e observaram mudanças significativas para características relacionadas ao valor nutricional do alimento. Porém, foram observadas quedas na produtividade de forragem ao longo dos ciclos, e devido a este fato, a

população WFISILO foi cruzada com um híbrido simples altamente produtivo, originando a população denominada WQS (Wisconsin Quality Synthetic). Esta população foi submetida a quatro ciclos de seleção entre progênies  $S_2$ , avaliando-se topcrosses, e foram observados avanços significativos na produtividade e também no valor nutricional da forragem produzida (GUSTAFSON; COORS; DE-LEON, 2010).

Nos programas de melhoramento de milho visando o desenvolvimento de híbridos, é comum fazer seleção para alguns caracteres durante o processo de obtenção de linhagens. Esta seleção reduz o trabalho durante o desenvolvimento de híbridos e possibilita a avaliação de um grande número de genótipos potencialmente superiores. Entretanto, a relação entre a digestibilidade de linhagens de milho e seus híbridos foi pouco estudada. Mendes et al. (2008) avaliaram híbridos simples sintetizados a partir de um dialelo parcial entre um grupo de alta e outro de baixa degradabilidade e verificaram que a degradabilidade da matéria seca pode ser avaliada ao nível de linhagem. Os autores verificaram que o desempenho dos híbridos foi relacionado com o desempenho médio das linhagens e das famílias para características da composição do colmo e da planta toda e para degradabilidade da matéria seca e da parede celular. Argillier, Méchin e Barrière (2000) avaliaram híbridos sintetizados a partir de um dialelo parcial entre 15 linhagens para características relacionadas à digestibilidade da forragem de milho. Os autores verificaram a eficiência da predição da performance do híbrido pelo valor médio dos parentais, bem como a boa relação entre o desempenho “per se” das linhagens e as estimativas da capacidade geral de combinação para características relacionadas à digestibilidade, principalmente a digestibilidade da fibra, indicando a possibilidade de melhorar o valor nutricional da forragem desta cultura já no processo de seleção das linhagens.

Na cultura do milho, ganhos em relação à produtividade de grãos já foram bem reportados em alguns trabalhos. Porém, ganhos referentes à produção e qualidade da forragem têm recebido pouca atenção. Neste sentido, o trabalho desenvolvido por Lauer, Coors e Flannery (2001), que objetivou descrever as mudanças na produtividade e qualidade de cultivares de milho representativas de diferentes épocas nos EUA, merece ser destacado. Foram avaliadas 36 cultivares utilizadas no “Corn Belt” no período de 1931 a 1990, estratificadas de acordo com o seu período de utilização. Os autores verificaram ganhos a partir de 1930 na produtividade de matéria seca da planta toda e da fração colmo. O teor de proteína da forragem não variou significativamente neste período e para o teor de fibra houve um decréscimo. Os ganhos de produtividade da forragem e das frações colmo e espiga foram de 1,4%, 0,7% e 2,4% por ano, respectivamente. Os autores concluem que, essa tendência de ganho continuará, porém, maiores progressos podem ser obtidos se o melhoramento do milho para forragem se concentrar sobre mudanças na produtividade de forragem e na qualidade do colmo.

#### **2.4 Cruzamentos dialélicos**

Uma parcela importante do melhoramento de plantas é representada pela hibridação das cultivares, linhagens e populações, possibilitando a união de dois ou mais fenótipos de interesse em um só indivíduo, de forma a produzir novas cultivares adaptadas às diversas finalidades e também possibilitar o estudo do controle genético das características agronômicas de interesse.

Para iniciar um programa de melhoramento de milho visando a produção de híbridos se faz necessária a escolha de uma população para a extração de linhagens. Entre as metodologias disponíveis para escolha de populações, os cruzamentos dialélicos são os mais amplamente utilizados em quase todas as



espécies vegetais cultivadas (BENIN et al., 2009; SCHEFFLER et al., 2008; SILVA et al., 2006; VIVEK et al., 2010). A vantagem da análise dialélica é que ela contribui para o processo decisório dos programas de melhoramento, analisando o delineamento genético de maneira a fornecer estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores como também permite a obtenção de informações sobre o controle genético dos caracteres.

Os cruzamentos dialélicos podem ser divididos em: a) dialelos balanceados: incluem os híbridos F1's entre todos os pares de combinações dos genitores; b) dialelos parciais: envolvem dois grupos de genitores e seus respectivos cruzamentos; c) dialelos circulantes: os genitores são representados por um mesmo número de cruzamentos, porém inferior a  $p-1$ , sendo  $p$  o número de genitores; d) dialelos incompletos: genitores são representados por um número variável de cruzamentos; e) dialelos desbalanceados: todas as combinações híbridas e também as demais gerações estão representadas, porém em frequência variável, em virtude do número desigual de repetições por tratamento (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Existem adaptações das metodologias propostas para os dialelos completos utilizadas na análise dos dialelos parciais. Miranda Filho e Geraldi (1984) adaptaram o modelo de Gardner e Eberhart (1966) e Geraldi e Miranda Filho (1988) apresentam as adaptações para os métodos 2 e 4 da metodologia de Griffing (1956).

Entre as metodologias desenvolvidas para análise dialélica, as mais utilizadas em milho são as metodologias desenvolvidas por Gardner e Eberhart (1966) e Griffing (1956). A metodologia de Gardner e Eberhart (1966) caracteriza-se por fornecer informações detalhadas a respeito do potencial “per se” dos genitores e da heterose manifestada em seus híbridos. Esta metodologia foi utilizada por Parra et al. (2010) para estimar parâmetros genéticos em um dialelo de nove populações no México, no intuito de selecionar uma população

base para extração de linhagens visando a produção de grãos e também por Gomes et al. (2006), visando a seleção de híbridos para produção de silagem.

O método apresentado por Griffing (1956) pode ser aplicado a um conjunto fixo ou aleatório de genótipos, dependendo dos tratamentos experimentais fornecerem conclusões que lhes são particulares ou que possam ser extrapoladas para uma população na qual os tratamentos representam uma amostra (EISENHART, 1955). Apesar de terem sido desenvolvidos para linhagens, os métodos de Griffing (1956) podem ser utilizados para outros tipos de populações com qualquer grau de endogamia.

O termo capacidade geral de combinação é utilizado para designar o comportamento médio de um parental em todos os cruzamentos de que participa (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; CRUZ; VENCOVSKY, 1989). Quanto mais altas forem essas estimativas, positivas ou negativas, determinado parental será considerado muito superior ou inferior aos demais incluídos no dialelo, e, se próximas de zero, seu comportamento não difere da média geral dos cruzamentos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

De acordo com Sprague e Tatum (1942), o termo capacidade específica de combinação (CEC) é utilizado para designar os casos em que certas combinações híbridas são superiores ou inferiores em relação ao esperado quanto à performance média dos parentais. Os efeitos da CEC enfatizam a importância de interações não aditivas resultantes da complementação gênica entre os parentais, possibilitando antever respostas de ganho genético com a exploração da heterose (BASTOS et al., 2003).

A combinação híbrida mais favorável deve ser, portanto, aquela que apresentar maior estimativa de capacidade específica de combinação e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos parentais apresente elevada capacidade geral de combinação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A literatura é vasta com relação à utilização de cruzamentos dialélicos em milho, para diversas características (PEGORARO et al., 2002; RODRIGUES; CHAVES; PACHECO, 2006; SILVA et al., 2006). Para o caráter produtividade de grãos, o componente da capacidade geral de combinação foi responsável por 37% da variação entre os tratamentos e para o caráter resistência a doenças, este mesmo componente foi responsável por 69% da variação. Estes resultados indicam que a contribuição dos genes de efeitos não aditivos é de maior magnitude para o caráter produtividade de grãos (VIVEK et al., 2009). Trabalhando com populações não melhoradas de milho, Lopez, Bertoia e Burak (2009) observaram que prevalecem genes de efeito aditivo no controle do caráter produção de forragem. No caso de produtividade de espigas, o mesmo não foi observado, pois o efeito de variedades correspondeu a 46% da soma de quadrados para tratamentos.

Apesar de o dialelo ser utilizado para análises univariadas, na obtenção de genótipos superiores, normalmente os melhoristas necessitam considerar vários caracteres, simultaneamente, para melhor inferir sobre a superioridade relativa dos mesmos. Felizmente, na literatura já há disponíveis alguns trabalhos que desenvolveram expressões para realização da análise dialélica multivariada (BENIN et al., 2009). O objetivo dessa análise é facilitar a execução da seleção com base na combinação de variáveis, o que, especificamente no melhoramento do milho para silagem, auxiliará na discriminação de genótipos que associem produtividade e qualidade da forragem.

## **2.5 Seleção envolvendo vários caracteres**

Quando o objetivo do melhorista é obter uma cultivar que apresente alta produção de grãos, a seleção é feita considerando somente esta característica. Porém, atualmente, para que uma cultivar seja amplamente utilizada pelos

agricultores ela deve reunir diferentes atributos, como por exemplo, tolerância a pragas e patógenos, alto valor nutricional, aliados à alta produtividade.

No caso do melhoramento de milho visando à produção de forragem estão envolvidos caracteres como produtividade de matéria seca, digestibilidade do alimento produzido, resistência a pragas e doenças, acamamento e quebramento de plantas, entre outros. Quando estão envolvidas várias características no processo de seleção é importante ter em mente o grau de associação entre elas. Um parâmetro muito utilizado para este fim é conhecido como correlação, e mede o grau de associação linear entre duas variáveis (FERREIRA, 2005).

Esta associação entre os valores fenotípicos pode ser devido a causas genéticas, quando há associação entre os valores genéticos dos indivíduos para dois caracteres distintos, ou ambientais, quando os efeitos ambientais (como por exemplo precipitação, fotoperíodo, disponibilidade de nutrientes etc) influenciam as características na mesma direção (BERNARDO, 2002; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Uma questão que surge é como proceder à seleção envolvendo múltiplos caracteres. Bernardo (2002) sugere três metodologias: a) método *in tandem*, onde é feita a seleção considerando uma característica por vez; b) método dos níveis independentes de eliminação (“Independent Culling Levels”), que consiste em realizar a seleção conjuntamente, assumindo critérios de seleção para cada caráter e c) método do índice de seleção, que permite realizar a seleção baseada em um único valor combinando todas as características.

Este último método está sendo amplamente adotado devido à sua eficiência. Uma descrição mais detalhada de vários índices pode ser encontrada em Cruz e Carneiro (2003). O índice da soma de variáveis padronizadas é um índice de seleção não paramétrico e se baseia nas propriedades de uma distribuição normal, sendo a padronização conseguida através da transformação

dos dados, o que torna possível a comparação das diferentes características em uma mesma escala (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005). Gomes et al. (2006) utilizaram este índice para seleção de híbridos de milho visando a produção de silagem, da mesma forma que Mendes, Ramalho e Abreu (2009) utilizaram o mesmo índice para selecionar populações segregantes de feijoeiro.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local**

Os experimentos foram conduzidos na fazenda experimental da Universidade Federal de Lavras, localizada no município de Ijaci - MG, nas coordenadas geográficas: 44° 58' (Oeste), 21° 12' (Sul) e 936 m de altitude. Nesta área são conduzidos experimentos com a cultura do milho e feijão, sendo praticada rotação de culturas, sob sistema de plantio direto.

As análises bromatológicas da forragem foram realizadas na Embrapa Gado de Leite, em Juiz de Fora - MG. Para realização das análises foi utilizado o método NIRS (Near-Infrared Reflectance Spectroscopy).

#### **3.2 Genótipos**

Os genótipos avaliados foram cruzamentos resultantes de um dialelo completo entre seis híbridos comerciais (incluindo  $F_1$ 's e recíprocos). Os cruzamentos recíprocos também foram avaliados, pois há o interesse em identificar a presença de efeito materno para os caracteres avaliados. Como testemunhas foram utilizados os próprios genitores (Tabela 1). Os genitores foram escolhidos com base em dados do programa de melhoramento de milho do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, relacionados ao desempenho dos mesmos, em experimentos realizados na região sul de Minas Gerais, para produtividade de grãos, e também com base na tabela de recomendação fornecida pela Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS). O delineamento experimental foi blocos completos casualizados, com três repetições (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Tabela 1 Características dos genitores utilizados no dialelo

<b>Cultivares</b>	<b>Recomendação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Textura dos grãos</b>	<b>Empresa</b>
AG 1051	Silagem	Duplo	Dentado	Agrocerec
AG 8060	Grão	Simples	Duro	Agrocerec
AG 4051	Silagem	Triplo	Dentado	Agrocerec
BM 3061	Silagem	Triplo	Dentado	Biomatrix
DOW8420	Grão	Simples	Duro	DAS
IPR 127	Grão	Simples	Duro	Iapar

### 3.3 Características avaliadas

Os genótipos foram avaliados em duas épocas, na safra, quando a semeadura foi realizada em novembro de 2010, e na safrinha, quando a semeadura foi realizada em janeiro de 2011. Foram conduzidos dois experimentos contíguos por época de plantio, semeados no mesmo dia, no intuito de se avaliar características relacionadas à produção de forragem e também a produtividade de espigas despalhadas.

#### 3.3.1 Avaliação da produção e valor nutricional da forragem

Neste experimento as parcelas experimentais foram constituídas de duas linhas de dois metros, com espaçamento entre linhas de 0,6 m. Por ocasião da abertura dos sulcos foram adicionados 350 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante formulado 08-28-16, e na semeadura foram distribuídas seis sementes por metro linear de sulco, sendo o desbaste realizado quando as plantas apresentavam de quatro a cinco folhas completamente expandidas, permanecendo quatro plantas por metro linear de sulco. Para realização da adubação de cobertura foi utilizada a fonte uréia, aplicando-se 350 kg.ha<sup>-1</sup>, quando as plantas se apresentavam no estágio

fisiológico de quatro a cinco folhas completamente expandidas. Os demais tratos culturais foram os normalmente utilizados pelos agricultores para a cultura do milho na região sul de Minas Gerais.

Foram avaliadas as seguintes características:

- a) altura de plantas (cm): altura de cinco plantas competitivas e representativas de cada parcela, do nível do solo até a inserção da folha bandeira;
- b) altura de inserção das espigas (cm): altura das espigas de cinco plantas competitivas e representativas de cada parcela, do nível do solo até o ponto de inserção da espiga superior;
- c) estande final: número de plantas existentes em cada parcela, por ocasião da colheita;
- d) plantas acamadas e quebradas (ACQ): foi contado o número de plantas acamadas e quebradas em cada parcela experimental;
- e) diâmetro de colmos (mm): diâmetro de colmo de cinco plantas competitivas e representativas de cada parcela, sendo a medição realizada no primeiro entrenó acima do nível do solo. Foi utilizado um paquímetro digital para realização das medições;
- f) número de folhas acima da espiga: foram contadas as folhas acima da espiga superior, de cinco plantas competitivas e representativas de cada parcela;
- g) produtividade de matéria verde das espigas ( $t \cdot ha^{-1}$ ): estimada pela pesagem das espigas, sendo estas apenas arrancadas da planta, ainda não trituradas, quando as plantas da parcela se apresentavam no estágio fisiológico denominado meia linha de leite (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000);



- h) produtividade de matéria verde de colmos e folhas ( $t.ha^{-1}$ ): estimada pela pesagem das plantas da parcela, sem as espigas, logo após o corte, com as plantas inteiras, ainda não trituradas. As plantas das parcelas foram colhidas, cortando-as a aproximadamente 20 cm do solo, no estágio fisiológico denominado meia linha de leite (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000);
- i) produtividade de matéria verde de planta inteira ( $t.ha^{-1}$ ): estimativa obtida através da soma do peso de espigas mais o peso de colmos e folhas;
- j) posteriormente à pesagem, todas as plantas da parcela foram trituradas em ensiladora acoplada ao trator e posteriormente foi retirada uma amostra de aproximadamente 900 gramas. Esta foi submetida a um processo de secagem em estufa de ventilação forçada, até atingir peso constante. Após a secagem, estas amostras foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de um mm;
- k) produtividade de matéria seca ( $t.ha^{-1}$ ): peso médio estimado em  $t.ha^{-1}$ , resultante da produtividade de matéria verde, multiplicada por uma correção para matéria seca a 105°C;
- l) foram estimados os seguintes parâmetros, relacionados ao valor nutricional da forragem: digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e teor de lignina. Estas análises foram realizadas com amostras de planta inteira secas a 55°C e moídas com peneira de um milímetro. Foi utilizado o método da espectroscopia de reflectância no infravermelho proximal (NIRS).

### **3.3.2 Avaliação da produtividade de espigas despalhadas (PED)**

Neste experimento, as parcelas experimentais foram constituídas de duas linhas de três metros, com espaçamento entre linhas de 0,6 m. Por ocasião da abertura dos sulcos foram adicionados  $350 \text{ kg.ha}^{-1}$  de fertilizante formulado 08-28-16, e na semeadura foram distribuídas seis sementes por metro linear de sulco, sendo o desbaste realizado quando as plantas apresentavam de quatro a cinco folhas completamente expandidas, permanecendo quatro plantas por metro linear de sulco. Para realização da adubação de cobertura foi utilizada a fonte uréia, aplicando-se  $350 \text{ kg.ha}^{-1}$ , quando as plantas apresentavam de quatro a cinco folhas completamente expandidas. Os demais tratos culturais foram os normalmente utilizados pelos agricultores para a cultura do milho na região sul de Minas Gerais.

Foram avaliadas as seguintes características:

- a) estande final: número de plantas existentes em cada parcela, por ocasião da colheita;
- b) plantas acamadas e quebradas (ACQ): foi contado o número de plantas acamadas e quebradas em cada parcela experimental;
- c) produtividade de Espigas Despalhadas (PED): estimada através da pesagem das espigas despalhadas de cada parcela, sendo a produtividade corrigida para o teor de água de 13%.

## **3.4 Procedimentos estatístico-genéticos**

### **3.4.1 Análise de variância**

Os dados coletados para todos os caracteres avaliados foram submetidos à análise de variância por época de semeadura segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + r_j + e_{ij}$$

sendo:

$Y_{ij}$  : valor observado do genótipo  $i$  ( $i=1, 2, \dots, 36$ ), na repetição  $j$  ( $j=1, 2, \text{ e } 3$ );

$\mu$  : média geral;

$g_i$  : efeito fixo do genótipo  $i$ ;

$r_j$  : efeito aleatório da repetição  $j$ ;

$e_{ij}$  : erro experimental aleatório associado à observação  $Y_{ij}$ ;

O efeito de genótipos foi decomposto ortogonalmente em efeitos de genitores, F1's e recíprocos. Foram estimados dois contrastes ortogonais, entre os genitores e os cruzamentos e entre os F1's e os recíprocos.

Após atendidas as pressuposições básicas para realização da análise conjunta (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005), esta foi feita de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + a_k + g_i + ga_{ik} + r_{jk} + \bar{e}_{ijk}$$

sendo:

$Y_{ijk}$  : valor observado do genótipo  $i$  ( $i=1, 2, \dots, 36$ ), na repetição  $j$  ( $j=1, 2, \text{ e } 3$ ), na época de semeadura  $k$  ( $k= 1 \text{ e } 2$ );

$\mu$  : média geral;

$a_k$  : efeito fixo da época de semeadura  $k$ ;

$g_i$  : efeito fixo do genótipo  $i$ ;

$ga_{ik}$  : efeito fixo da interação entre o genótipo  $i$  e a época de semeadura  $k$ ;

$r_{jk}$  : efeito aleatório da repetição  $j$ , hierarquizado à época de semeadura  $k$ ;

$\bar{e}_{ijk}$  : erro aleatório médio associado à observação  $Y_{ijk}$ ;

O efeito da interação genótipos por épocas foi decomposto ortogonalmente em efeito da interação entre os tipos de progênie e as épocas de plantio e efeito da interação entre os genótipos, hierarquizado ao tipo de progênie, e as épocas de semeadura.

Para realização das análises utilizou-se o procedimento GLM (General Linear Models) do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2002).

### 3.4.2 Análise dialélica

Para realização da análise dialélica foi utilizado o procedimento de Griffing (1956), método três, a partir da média dos F1's e recíprocos, segundo o modelo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + e_{ij}$$

sendo:

$Y_{ij}$ : valor médio da combinação híbrida ( $i \neq j$ );

$\mu$ : média geral;

$g_i, g_j$ : efeitos da capacidade geral de combinação do  $i$ -ésimo ou  $j$ -ésimo genitor ( $i, j = 1, 2, \dots, p$ );

$s_{ij}$ : efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores de ordem  $i$  e  $j$ ;

$r_{ij}$ : efeito recíproco que mede as diferenças proporcionadas pelo genitor  $i$ , ou  $j$ , quando utilizado como macho ou fêmea no cruzamento  $ij$ ;

$e_{ij}$ : erro experimental aleatório associado à observação de ordem  $ij$ ;

Para realização da análise dialélica conjunta foi utilizado o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + a_k + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + ag_{ik} + ag_{jk} + as_{ijk} + ar_{ijk} + \bar{e}_{ijk}$$

sendo:

$Y_{ijk}$  : valor médio da combinação híbrida ( $i \neq j$ ), na época de semeadura  $k$  ( $k=1$  e  $2$ );

$\mu$  : média geral;

$a_k$  : efeito fixo da época de semeadura  $k$  ( $k=1$  e  $2$ );

$g_i, g_j$  : efeitos fixos da capacidade geral de combinação do genitor  $i$  ou  $j$  ( $i, j=1, 2, \dots, 6$ );

$s_{ij}$  : efeito fixo da capacidade específica de combinação para o cruzamento entre os genitores de ordem  $i$  e  $j$ ;

$r_{ij}$  : efeito fixo do cruzamento recíproco que mede as diferenças proporcionadas pelo genitor  $i$ , ou  $j$ , quando utilizado como macho ou fêmea no cruzamento  $ij$ ;

$ag_{ik}$  : efeito fixo da interação entre a época de semeadura  $k$  e o efeito da capacidade geral de combinação do genitor  $i$ ;

$ag_{jk}$  : efeito fixo da interação entre o época de semeadura  $k$  e o efeito da capacidade geral de combinação do genitor  $j$ ;

$as_{ijk}$  : efeito fixo da interação entre a época de semeadura  $k$  e o efeito da capacidade específica de combinação entre os genitores  $i$  e  $j$ ;

$ar_{ijk}$  : efeito fixo da interação entre a época de semeadura  $k$  e o efeito recíproco entre os genitores  $i$  e  $j$ ;

$\bar{e}_{ijk}$  : erro experimental aleatório médio;

As análises foram realizadas de acordo o procedimento descrito por Zhang, Kang e Lamkey (2005).

### 3.5 Seleção envolvendo várias características

Foi utilizado o índice da soma de variáveis padronizadas (Índice Z), utilizado por Gomes et al. (2006), para selecionar híbridos de milho para produção de silagem e por Mendes, Ramalho e Abreu (2009) para seleção de populações segregantes de feijoeiro envolvendo várias características.

A padronização foi realizada com as médias ajustadas de acordo com a seguinte expressão:

$$z_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_{.j}}{s_{.j}}$$

em que:  $z_{ij}$  é o valor fenotípico padronizado do genótipo i para a característica j;  $y_{ij}$  é a média ajustada do genótipo i para a característica j,  $\bar{y}_{.j}$  é a média fenotípica da característica j;  $s_{.j}$  é o desvio padrão fenotípico associado à característica j.

Um problema ocorre após esta padronização, pois o valor fenotípico padronizado assume valores negativos e positivos, de maneira que foi somada uma constante (k=4), para que a variável  $z_{ij}$  não assumisse valores negativos.

Outra questão que surge é com relação aos caracteres em que são desejados baixos valores fenotípicos, como por exemplo o diâmetro de colmos e o teor de fibra. Para essas características os valores de  $z_{ij}$  foram invertidos, multiplicando-os por -1, de maneira que valores positivos se tornaram negativos e vice-versa. Transformação semelhante foi utilizada por Gomes et al. (2006).

Posteriormente, procedeu-se o cômputo da soma e da variância dos valores padronizados para cada genótipo, no intuito de selecionar aquela população que apresentasse maior soma e menor variância para os valores padronizados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de variância

O coeficiente de variação demonstra que a precisão experimental foi boa para todos os caracteres avaliados, e que os genótipos foram avaliados sob boas condições experimentais. É importante salientar que o coeficiente de variação experimental depende da característica avaliada, da unidade de avaliação e também da estrutura genética das populações avaliadas. Pode-se observar também, com o intuito de avaliar a acurácia experimental, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que estima a proporção da variação explicada pelo modelo adotado (FERREIRA, 2005). As estimativas observadas no presente trabalho foram sempre superiores a 50% (Tabelas 2, 3 e 4), demonstrando que o modelo de análise explicou satisfatoriamente a variação nos dados. O coeficiente de determinação do modelo é indicado para avaliação da precisão experimental pois esta associado a alta variância entre tratamentos e baixa variância residual, além de independer da média do ensaio, podendo ser interpretado de maneira mais geral, sem a dependência de tabelas de classificação (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2007, 2009).

Para as características relacionadas à produtividade de forragem, foram observadas diferenças significativas entre os genótipos avaliados ( $P < 0,01$ ). Na decomposição deste efeito na variação entre genitores, entre F1's e entre recíprocos, foram observadas diferenças significativas entre os genótipos dentro de cada grupo, exceto para a produtividade de matéria verde de espigas ( $MV^{esp}$ ), onde não foram detectadas diferenças significativas entre os F1's e entre os recíprocos (Tabela 2). As médias de produtividade concordam com relatos encontrados na literatura (CHAVES et al., 2008; GOMES et al., 2006; MENDES et al., 2008). Além disso, pode-se observar que as médias ajustadas

variam amplamente para os caracteres relacionados à produtividade de forragem (Tabela 5).

Pela análise dos contrastes pode-se observar que os cruzamentos, em média, foram mais produtivos que os genitores ( $P < 0,01$ ). Considerando a produtividade de matéria seca (MS), este incremento foi da ordem de 37% (Tabela 2). Gomes et al. (2006) e Lopez, Bertoia e Burak (2009) também observaram a ocorrência de heterose no sentido de aumentar a produtividade de forragem, ressaltando que a utilização de populações híbridas é uma boa estratégia de melhoramento para este objetivo.

Considerando a influência da época de semeadura sobre estes caracteres, observamos que esta foi intensa e significativa ( $P < 0,01$ ), de maneira que na safrinha a produtividade foi reduzida em relação à safra. Este baixo desempenho na safrinha pode ser explicado, em parte, pela estiagem que ocorreu no mês de janeiro. Com relação à interação entre os genótipos e as épocas de semeadura, verifica-se que este efeito foi significativo para a produtividade de matéria verde de folhas e colmos ( $MV^{fc}$ ) e para a produtividade de matéria verde (MV), indicando que para estas características o comportamento dos genótipos não foi consistente nos ambientes avaliados (Tabela 2). Efeito significativo da interação genótipos por ambientes já foi relatado para produtividade de matéria seca, ao serem avaliados híbridos comerciais em diferentes safras e locais (GOMES et al., 2002).



Tabela 2 Resumo da análise de variância conjunta para as características produtividade de matéria verde de folhas e colmos –  $MV^{fc}$  – em  $t.ha^{-1}$ ; produtividade de matéria verde de espigas –  $MV^{esp}$  – em  $t.ha^{-1}$ ; produtividade de matéria verde total –  $MV$  – em  $t.ha^{-1}$  produtividade de matéria seca –  $MS$  – em  $t.ha^{-1}$ ; de um dialelo completo envolvendo seis genitores, as progênies F1's e os recíprocos, avaliados em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/2011

Efeito	GL	QM			
		$MV^{fc}$	$MV^{esp}$	$MV$	$MS$
Rep.	4	---	---	---	---
Épocas (E)	1	**	**	**	**
Genótipos (G)	35	**	**	**	**
Tipo	2	**	**	**	**
Genitores vs Cruzamentos	1	**	**	**	**
F1's vs Recíprocos	1	ns	*	ns	ns
G (Tipo)	33	**	**	**	**
Genitores	5	**	**	**	**
F1's	14	**	ns	*	**
Recíprocos	14	**	ns	**	**
E x G	35	**	ns	*	ns
E x Tipo	2	*	ns	ns	ns
E x G (Tipo)	33	**	ns	*	ns
Erro	139				134 <sup>1</sup>
R <sup>2</sup> (%)		90,92	83,53	89,16	87,04
CV (%)		19,75	21,4	19,46	18,72
Média Geral		23,84	18,12	41,96	14,72
Média Safra		32,45	22,7	55,15	18,1
Média Safrinha		12,67	11,83	24,5	9,78
Media (G)		17,83	14,15	31,99	11,19
Média (F1's)		25,32	19,48	44,79	15,45
Média (Recíprocos)		24,53	18,17	42,7	15,18

\*, \*\* Significativo, pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns: Não significativo; <sup>1</sup> Grau de liberdade associado ao erro experimental

Para as características relacionadas ao valor nutricional da forragem (digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), teor de fibra em detergente neutro (FDN), teor de fibra em detergente ácido (FDA) e teor de lignina (Lig.)), apenas não houve variação significativa entre os genótipos para a DIVMS. Porém, fato interessante ocorre quando avaliamos a decomposição do efeito de genótipos na variação entre genitores, entre F1's e entre recíprocos, de maneira que só foram detectadas diferenças significativas entre genitores, para os caracteres FDN, FDA e Lignina ( $P < 0,01$ ). Na literatura existem relatos da existência de variabilidade para características bromatológicas da forragem (ARGILLIER; MÉCHIN; BARRIÈRE, 2000; MENDES et al., 2008; TANG et al., 2008), porém no presente trabalho tal variação não foi detectada entre os cruzamentos (Tabela 3). Pela análise da amplitude dos dados, que segundo Ferreira (2005), representa a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo em um conjunto de dados, observa-se que para a DIVMS esta variação foi de apenas 5,54%, enquanto que para os teores de FDN, FDA e lignina, esta foi de 10,4%, 7,22% e 1,39%, respectivamente (Tabela 5).

Analisando os contrastes pode-se observar que houve diferença significativa entre os genitores e os cruzamentos para as variáveis FDN, FDA e Lignina ( $P < 0,01$ ), sendo que em média os teores de fibra e lignina dos cruzamentos foram maiores que dos genitores, o que resulta em decréscimo no valor nutritivo da forragem na geração filial. Existem relatos na literatura a cerca do efeito do aumento nos teores de fibra sobre a digestibilidade da forragem (GOMES et al., 2006). Com relação ao contraste entre os F1's e os recíprocos, só foram detectadas diferenças significativas para o caráter digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) ( $P < 0,01$ ), evidenciando que em média os recíprocos apresentaram maior digestibilidade que os F1's.

Considerando o efeito da época de semeadura, novamente este foi de intensa magnitude, atuando no sentido de reduzir significativamente ( $P < 0,01$ ) o

valor nutritivo do alimento, reduzindo a digestibilidade e aumentando os teores de fibra e lignina. Considerando a DIVMS, esta redução foi da ordem de 10%. Estes resultados concordam com dados da literatura (GOMES et al., 2006). Não foi detectada significância para o efeito da interação entre os genótipos e as épocas de semeadura, evidenciando que os genótipos se comportaram de maneira consistente (Tabela 3).

Considerando a produtividade de espigas despalhadas (PED), foram detectadas diferenças significativas entre genótipos ( $P < 0,01$ ). Pela decomposição deste efeito na variação entre genitores, entre F1's e entre recíprocos, verifica-se que houve variação significativa dentro dos três grupos. É necessário esclarecer que ocorreu a perda de dados para um genitor, devido a deficiências no estande de plantas.

O desempenho dos cruzamentos foi superior ao desempenho dos genitores, de forma que em média o desempenho dos cruzamentos foi 23% superior ao desempenho dos genitores. O fenômeno da heterose já é bem conhecido na cultura do milho para o caráter produtividade de grãos, e trabalhos semelhantes já foram desenvolvidos no intuito de se estimar a heterose (SCHEFFLER et al., 2008). Uma revisão sobre as possíveis causas da heterose é apresentada em Reif, Hallauer e Melchinger (2005).

Houve uma redução significativa da produtividade na safrinha ( $\approx 50\%$ ) ( $P < 0,01$ ), em relação à safra. Não foi detectado efeito significativo para a interação entre os genótipos e as épocas de semeadura, o que mostra que embora tenha ocorrido um intenso efeito ambiental, o comportamento dos genótipos foi consistente (Tabela 3).

Tabela 3 Resumo da análise de variância conjunta para as características digestibilidade *in vitro* da matéria seca – DIVMS – em porcentagem; teor de fibra em detergente neutro – FDN – em porcentagem; teor de fibra em detergente ácido – FDA – em porcentagem; teor de lignina – Lig. – em porcentagem; produtividade de espigas despalhadas – PED – em t.ha<sup>-1</sup>; de um dialelo completo envolvendo seis genitores, as progênies F1's e os recíprocos, avaliados em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/2011

Efeito	GL	QM				
		DIVMS	FDN	FDA	Lig.	PED
Rep.	4	---	---	---	---	---
Épocas (E)	1	**	**	**	*	**
Genótipos (G)	35	ns	**	**	*	** (34) <sup>1</sup>
Tipo	2	**	*	**	*	**
Genitores vs Cruzamentos	1	ns	**	**	**	**
F1's vs Recíprocos	1	**	ns	ns	ns	ns
G (Tipo)	33	ns	*	*	ns	** (32)
Genitores	5	ns	**	**	*	** (4)
F1's	14	ns	ns	ns	ns	**
Recíprocos	14	ns	ns	ns	ns	*
E x G	35	ns	ns	ns	ns	ns (34)
E x Tipo	2	*	ns	ns	ns	ns
E x G (Tipo)	33	ns	ns	*	ns	ns (32)
Erro	---	(132)	(132)	(132)	(132)	(134)
R <sup>2</sup> (%)		82,32	55,12	59,35	50,32	83,54
CV (%)		5,14	6,98	9,86	12,39	21,45
Média Geral		63,13	59,24	28,14	5,03	7,69
Média Safra		68,28	57,34	26,47	4,88	9,70
Média Safrinha		58,15	60,49	29,29	5,08	5,10
Media (G)		63,71	57,57	26,83	4,77	6,41
Média (F1's)		62,13	59,73	28,53	5,08	7,98
Média (Recíprocos)		63,8	59,45	28,29	5,09	7,82

\*, \*\* Significativo pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns: Não significativo; <sup>1</sup> Grau de liberdade associado ao efeito

Com relação às características: altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), número de folhas (NF) e diâmetro de colmos (DC), foram detectadas diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) entre os genótipos. Pela decomposição deste efeito na variação entre genitores, entre F1's e entre recíprocos, verifica-se que houve variação significativa dentro dos três grupos ( $P < 0,05$ ). Para os caracteres NF e DC, as amplitudes foram de 1,28 unidades e 4,59 mm, respectivamente (Tabela 5).

Pela análise dos contrastes, verifica-se que a média dos genitores diferiu da média dos cruzamentos para as características altura de plantas e número de folhas, sendo que em ambas houve uma redução no valor fenotípico na geração filial. A média dos F1's não diferiu da média dos recíprocos.

Novamente ocorreu acentuado efeito ambiental, no sentido de reduzir a expressão fenotípica na safrinha ( $P < 0,01$ ), exceto para o caráter número de folhas. O efeito da interação entre os genótipos e as épocas de plantio foi significativo apenas para o caráter número de folhas ( $P < 0,05$ ) (Tabela 4).

Foram estimadas as correlações de interesse entre os caracteres. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi influenciada negativamente por altos valores nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA). A correlação entre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e lignina não foi diferente de zero. Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) correlacionaram-se positivamente com o teor de lignina (Tabela 6).

Pode-se observar que há uma associação positiva e significativa ( $r \neq 0$ ) entre a produtividade de matéria verde (MV), produtividade de matéria seca (MS) e produtividade de espigas despalhadas (PED) com a altura de plantas (AP), de maneira que aqueles genótipos mais altos foram também mais produtivos. Por este motivo optou-se por considerar a característica altura de plantas no índice Z. A produtividade de espigas despalhadas (PED) associou-se

positivamente tanto com a produtividade de matéria verde (MV), quanto com a produtividade de matéria seca (MS), mostrando que aqueles genótipos que produziram mais forragem também produziram mais espigas (Tabela 7).

Tabela 4 Resumo da análise de variância conjunta para as características altura de plantas – AP – em cm; altura de espigas – AE – em cm; número de folhas acima da espiga superior – NF; diâmetro de colmos – DC – em mm; avaliadas em um dialelo completo envolvendo seis genitores, as progênies F1's e os recíprocos, avaliados em duas épocas de plantio, no ano agrícola 2010/2011

FV	GL	QM			
		AP	AE	NF	DC
Rep.	4	---	---	---	---
Épocas (E)	1	**	**	ns	**
Genótipos (G)	34	**	**	**	**
Tipo	2	*	ns	ns	ns
Genitores vs Cruzamentos	1	*	ns	*	ns
F1's vs Recíprocos	1	ns	ns	ns	ns
G (Tipo)	32	**	**	**	**
Genitores	4	**	**	**	**
F1's	14	**	**	**	**
Recíprocos	14	**	**	**	*
E x G	34	ns	ns	*	ns
E x Tipo	2	ns	ns	ns	ns
E x G (Tipo)	32	ns	ns	*	ns
Erro	136				
R <sup>2</sup> (%)		86,43	75	63,38	84,6
CV (%)		6,14	9,88	5,18	8,02
Média Geral		203,98	103,59	6,13	21,30
Média Safra		226,02	113,93	6,20	24,17
Média Safrinha		184,38	93,26	6,11	18,47
Media (G)		209,49	103,60	6,25	21,40
Média (F1's)		202,00	103,00	6,12	21,23
Média (Recíprocos)		204,12	104,18	6,11	21,32

\*, \*\* Significativo pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns: Não significativo; <sup>1</sup> Grau de liberdade associado ao efeito

Tabela 5 Amplitude das médias ajustadas dos genótipos constituintes de um dialelo completo, envolvendo os genitores, F1's e recíprocos, avaliado em duas épocas de plantio, no ano agrícola 2010/11

Caráter	Mínimo	Máximo
MV <sup>fc</sup> (t.ha <sup>-1</sup> )	5,56	31,11
MV <sup>esp</sup> (t.ha <sup>-1</sup> )	4,31	23,99
MV (t.ha <sup>-1</sup> )	9,86	53,58
MS (t.ha <sup>-1</sup> )	3,13	18,93
DIVMS (%)	60,7	66,24
FDN (%)	52,81	63,21
FDA (%)	23,6	30,82
Lignina (%)	4,27	5,66
PED (t.ha <sup>-1</sup> )	2,92	9,81
AP (cm)	173	230,83
AE (cm)	86,17	124,5
NF	5,63	6,91
DC (mm)	18,91	23,5

Tabela 6 Matriz de correlações de Pearson para os caracteres número de folhas (NF), diâmetro de colmos (DC), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), Lignina e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS)

	DIVMS	NF	DC	FDN	FDA	Lignina
DIVMS	1	-0,2242 <sup>ns</sup>	0,0145 <sup>ns</sup>	0,3411*	-0,425**	-0,2844 <sup>ns</sup>
NF		1	0,3875*	0,2092 <sup>ns</sup>	0,1867 <sup>ns</sup>	0,1644 <sup>ns</sup>
DC			1	0,174 <sup>ns</sup>	0,1442 <sup>ns</sup>	0,1906 <sup>ns</sup>
FDN				1	0,9753**	0,9127**
FDA					1	0,9367**
Lignina						1

\*, \*\*: significativo, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

Tabela 7 Matriz de correlações de Pearson para os caracteres produtividade de matéria verde (MV), produtividade de matéria seca (MS), produtividade de espigas despalhadas (PED) e altura de plantas (AP)

	AP	MV	MS	PED
AP	1	0,4242*	0,356*	0,4276*
MV		1	0,9418**	0,8626**
MS			1	0,8187**
PED				1

\*, \*\*: significativo, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

#### 4.2 Análise dialélica

De acordo com o método três do procedimento de Griffing (1956), a variação entre os cruzamentos (F1's e recíprocos) foi decomposta no efeito da capacidade geral e específica de combinação e no efeito recíproco (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Para produtividade de forragem, foram detectadas diferenças significativas entre os cruzamentos para todas as características. Observa-se pela decomposição deste efeito, que a capacidade geral de combinação (CGC) foi significativa para todas as características ( $P < 0,01$ ), o que evidencia que os genitores diferem na frequência média de alelos favoráveis, contribuindo diferentemente para os cruzamentos em que participam. Para os caracteres  $MV^{fc}$  e MV os desvios não explicados pelos efeitos da CGC foram significativos, como é mostrado pela significância do efeito da capacidade específica de combinação (CEC) (Tabela 8). A CEC é estimada como um desvio de um determinado cruzamento, em relação ao que era esperado com base na CGC dos parentais. As estimativas de  $S_{ij}$  evidenciam a importância de genes que exibem efeitos não-aditivos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Para o caráter  $MV^{fc}$  foi verificada significância do efeito recíproco, o que indica que há



diferenças quando um genitor é utilizado como macho ou fêmea na expressão fenotípica desse caráter (Tabela 9).

Embora tenha ocorrido efeito significativo da época de semeadura ( $P < 0,01$ ), a não significância dos efeitos da interação entre os efeitos da CGC, CEC e Recíproco com as épocas de semeadura evidenciam que estes efeitos foram consistentes. Somente para o caráter  $MV^{fc}$  verificou-se significância dos efeitos da interação entre os cruzamentos e as épocas de semeadura. Esta interação foi decomposta nos efeitos da CGC x E, CEC x E e Recíproco x E, de maneira que os efeitos da CGC não se mostraram consistentes nas épocas avaliadas ( $P < 0,05$ ) (Tabela 8).

Para produtividade de matéria verde destaca-se o cruzamento AG 8060 x DOW 8420, que apresentou alta estimativa da CEC ( $s = 3,39$ ). O cruzamento BM 3061 x AG 4051 também apresentou elevada estimativa da CEC ( $s = 3,09$ ), sendo que o genitor BM 3061 apresentou alta estimativa para a CGC ( $g = 2,53$ ). A capacidade específica de combinação (CEC) proporciona informações sobre os efeitos gênicos não aditivos, indicando também o grau de complementaridade entre os genitores. Os genitores BM 3061 e IPR 127 apresentaram altas estimativas da CGC, evidenciando que estes apresentam alta frequência de alelos favoráveis para o caráter em questão (Tabela 10). Para realizar a seleção, interessa ao melhorista combinações que apresentem altos valores positivos para a CEC e que pelo menos um dos pais apresente alta CGC (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Para a produtividade de espigas despalhadas (PED), foram detectadas diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) entre os cruzamentos. Pela decomposição deste efeito observa-se que tanto o efeito da CGC quanto o da CEC foram significativos, evidenciando que os genitores em questão diferem na frequência de alelos favoráveis, e que os desvios não explicados pelas CGC's foram significativos (Tabela 8). Destaca-se o cruzamento BM 3061 x AG 1051, que

apresentou a maior estimativa da CEC ( $s = 0,44$ ), sendo que o genitor BM 3061 apresentou alta estimativa da CGC ( $g = 0,59$ ), o que, em termos de seleção seria o desejado (Tabela 11).

Considerando a produtividade de matéria seca, foram detectadas diferenças significativas entre os cruzamentos ( $P < 0,01$ ), e pela decomposição deste efeito na CGC e CEC, verifica-se que apenas o efeito da CGC foi significativo ( $P < 0,01$ ). Com maiores estimativas da CGC destacam-se os genitores BM 3061 e Dow 8420, apresentando  $g = 0,96$  e  $g = 0,79$ , respectivamente.

Houve um significativo efeito da época de semadura ( $P < 0,01$ ), porém a interação entre os cruzamentos, CGC e CEC com as épocas de semeadura não foram significativos, evidenciando que os efeitos da CGC e CEC foram consistentes nos ambientes avaliados (Tabela 8).

Tabela 8 Resumo da análise de variância conjunta para as características produtividade de matéria verde de folhas e colmos –  $MV^{fc}$  – em  $t.ha^{-1}$ ; produtividade de matéria verde de espigas –  $MV^{esp}$  – em  $t.ha^{-1}$ ; produtividade de matéria verde total –  $MV$  – em  $t.ha^{-1}$  produtividade de matéria seca –  $MS$  –  $emt.ha^{-1}$  e produtividade de espigas despalhadas –  $PED$  – em  $t.ha^{-1}$ , com decomposição do efeito de cruzamentos (F1's e recíprocos) na capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, de um dialelo envolvendo seis genitores de milho, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/11

Efeito	GL	QM				
		$MV^{fc}$	$MV^{esp}$	$MV$	$MS$	$PED$
Cruzamentos (C)	29	**	*	**	**	**
CGC	5	**	**	**	**	**
CEC	9	**	ns	**	ns	*
Recíproco	15	*	ns	ns	ns	ns
Épocas (E)	1	**	**	**	**	**
C x E	29	*	ns	ns	ns	ns
CGC x E	5	*	ns	ns	ns	ns
CEC x E	9	ns	ns	ns	ns	ns
Recíproco x E	15	ns	ns	ns	ns	ns
Erro	116				111 <sup>1</sup>	114
R <sup>2</sup> (%)		90,95	82,25	89,04	86,22	84,34
CV (%)		18,36	19,7	17,89	16,96	19,72
Média		24,92	18,83	43,75	15,37	7,91

\*, \*\* Significativo pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns: Não significativo; <sup>1</sup> Grau de liberdade associado ao efeito

Tabela 9 Estimativas dos efeitos da capacidade geral, específica de combinação e efeito recíproco, para produtividade de matéria verde de folhas e colmos, obtidas em um dialelo envolvendo seis genitores, seus F1's e os recíprocos, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/11<sup>1</sup>

	Dow8420	BM3061	AG8060	AG4051	IPR127	AG1051
Dow8420	-0,75	0,14	2,21	-2,37	-1,81	1,83
BM3061	0,96	1,33	-1,50	2,29	-2,60	1,68
AG8060	0,61	-3,39	1,48	0,01	2,52	-3,24
AG4051	1,56	-0,43	0,04	-0,17	-1,11	-1,04
IPR127	3,75	0,07	0,63	2,67	1,56	0,77
AG1051	-3,56	-0,11	2,21	0,78	0,12	-3,45

<sup>1</sup> Na diagonal estão os efeitos da CGC, acima dela estão os efeitos da CEC e abaixo os efeitos recíprocos

Tabela 10 Estimativas dos efeitos da capacidade geral e específica de combinação, para produtividade de matéria verde, obtidas em um dialelo envolvendo seis genitores, seus F1's e os recíprocos, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/11<sup>1</sup>

	Dow8420	BM3061	AG8060	AG4051	IPR127	AG1051
Dow8420	-0,13	0,90	3,39	-3,72	-2,85	2,28
BM3061		2,53	-2,31	3,09	-4,09	2,41
AG8060			0,94	0,54	2,95	-4,57
AG4051				0,03	-2,10	-2,01
IPR127					2,08	1,88
AG1051						-5,45

<sup>1</sup> Na diagonal estão os efeitos da CGC e acima dela os efeitos da CEC

Tabela 11 Estimativas dos efeitos da capacidade geral e específica de combinação, para produtividade de espigas despalhadas, obtidas em um dialelo envolvendo seis genitores, seus F1's e os recíprocos, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/11<sup>1</sup>

	Dow8420	BM3061	AG8060	AG4051	IPR127	AG1051
Dow8420	-0,10	0,35	0,20	-0,74	-0,15	0,35
BM3061		0,59	0,19	-0,20	-0,78	0,44
AG8060			0,31	0,43	-0,36	-0,46
AG4051				-0,08	-1,07	-0,56
IPR127					0,48	0,23
AG1051						-1,19

<sup>1</sup> Na diagonal estão os efeitos da CGC e acima dela os efeitos da CEC

Para as características relacionadas ao valor nutricional da forragem, não foram observadas diferenças significativas entre os cruzamentos. Pela decomposição deste efeito, observou-se que o efeito da CGC foi significativo apenas para DIVMS, evidenciando que os genitores diferem na frequência de alelos favoráveis para o caráter em questão. Destacam-se os genitores AG 1051 ( $g = 0,72$ ) e BM 3061 ( $g = 0,62$ ), com altas estimativas da CGC (Tabela 14). Resultados semelhantes foram relatados por Gomes et al. (2004), que verificou serem mais importantes os genes de efeito aditivo no controle da degradabilidade *in situ* da matéria seca da silagem de milho.

Com relação ao efeito recíproco, este foi significativo ( $P < 0,05$ ) para as características digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), teor de fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), evidenciando que existem diferenças quando um genitor é utilizado como macho ou fêmea nos cruzamentos em questão (Tabela 12). Resultados semelhantes foram relatados por Chaves et al. (2008), que não observaram significância para os efeitos da CGC e CEC para caracteres relacionados ao valor nutricional da forragem, indicando que os genitores não diferem na frequência de alelos favoráveis para os caracteres em questão.

É interessante salientar que para as características FDN, FDA e Lignina seria interessante selecionar genótipos que apresentassem estimativas negativas para os efeitos da CGC e da CEC, pois para estes caracteres baixos valores fenotípicos são desejados.

O efeito da época de semeadura foi significativo ( $P < 0,01$ ) e ocorreu no sentido de reduzir o valor nutricional da forragem, reduzindo os valores para a DIVMS e aumentando os teores de FDN, FDA e lignina (Tabela 12).

Tabela 12 Resumo da análise de variância conjunta para as características digestibilidade *in vitro* da matéria seca – DIVMS – em porcentagem; teor de fibra em detergente neutro – FDN – em porcentagem; teor de fibra em detergente ácido – FDA – em porcentagem; teor de lignina – Lig. – em porcentagem; com decomposição do efeito de cruzamentos (F1's e recíprocos) na capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, de um dialelo envolvendo seis genitores de milho, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/11

Efeito	GL	QM			
		DIVMS	FDN	FDA	Lig.
Cruzamentos (C)	29	ns	ns	ns	ns
CGC	5	*	ns	ns	ns
CEC	9	ns	ns	ns	ns
Recíproco	15	*	*	*	ns
Épocas (E)	1	**	**	**	**
C x E	29	ns	ns	ns	ns
CGC x E	5	ns	ns	ns	ns
CEC x E	9	ns	ns	ns	ns
Recíproco x E	15	ns	*	*	*
Erro	109				
R <sup>2</sup> (%)		83,94	51,97	56,59	48,79
CV (%)		4,9	7,15	9,97	12,41
Média		62,98	59,57	28,4	5,08

\*, \*\* Significativo pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns: Não significativo

Para os caracteres relacionados à morfologia da planta, observou-se que existe variabilidade entre os cruzamentos ( $P < 0,01$ ). Pela decomposição deste efeito, verifica-se que para todos os caracteres, o efeito da CGC foi significativo ( $P < 0,01$ ), enquanto que o efeito da CEC foi não significativo. Pode dizer que no controle desses caracteres prevalecem os genes de efeito aditivo (Tabela 13). Considerando o caráter altura de plantas (AP), destacam-se os genitores AG 4051 ( $g = 12,36$ ), BM 3061 ( $g = 8,11$ ) e AG 8060 ( $g = 7,13$ ), com altas estimativas da CGC, de maneira que estes genitores contribuem com 12,36 cm, 8,11 cm e 7,13 cm para o aumento da altura de plantas dos cruzamentos em que participam (Tabela 14).

Para o caráter número de folhas (NF) destaca-se o genitor AG 8060 ( $g = 0,32$ ), de forma que este contribui nos cruzamentos em que participa para o aumento no número de folhas acima da espiga superior. Há relatos na literatura de que o aumento no número de folhas acima da espiga superior promove aumentos na produtividade e digestibilidade da forragem, inclusive a utilização de genótipos mutantes (“leafy genes”) é recomendada (PINTER; HADI; MARTON, 2011).

Com relação ao caráter diâmetro de colmos (DC), o genitor DOW 8420 se destaca por contribuir para a redução a espessura do colmo, devido à alta e negativa estimativa da CGC ( $g = -0,75$ ) (Tabela 14).

Tabela 13 Resumo da análise de variância conjunta para as características altura de plantas – AP – em cm; altura de espigas – AE – em cm; número de folhas acima da espiga superior – NF; diâmetro de colmos – DC – em mm; com decomposição do efeito de cruzamentos (F1's e recíprocos) na capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, de um dialelo envolvendo seis genitores de milho, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/11

Efeito	GL	QM			
		AP	AE	NF	DC
Cruzamentos (C)	29	**	**	**	**
CGC	5	**	**	**	**
CEC	9	ns	ns	ns	ns
Recíproco	15	ns	ns	ns	ns
Épocas (E)	1	**	**	ns	**
C x E	29	ns	ns	*	ns
CGC x E	5	ns	ns	**	ns
CEC x E	9	ns	ns	ns	ns
Recíproco x E	15	ns	ns	ns	ns
Erro	116				
R <sup>2</sup> (%)		86,46	74,45	61,42	84,91
CV (%)		5,97	9,53	5,09	8,07
Média		20,31	103,59	6,11	21,28

\*, \*\* Significativo pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns: Não significativo



Tabela 14 Estimativas da capacidade geral de combinação ( $g_i$ ), para as características produtividade de matéria verde de espigas ( $MV^{esp}$ ), produtividade de matéria seca (MS), produtividade de espigas despalhadas (PED), altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), número de folhas (NF) e diâmetro de colmos (DC), obtidas em um dialelo de seis genitores, os F1's e os recíprocos, avaliado em duas épocas de semeadura, no ano agrícola 2010/2011

Genitor	$g_i$						
	$MV^{esp}$	MS	DIVMS	AP	AE	NF	DC
Dow 8420	0,62	0,79	0,23	-10,35	-4,59	-0,21	-0,75
BM 3061	1,20	0,96	0,62	8,11	5,97	-0,07	0,61
AG8060	-0,54	-0,06	0,01	7,13	1,12	0,32	-0,03
AG 4051	0,20	0,33	-0,16	12,36	9,12	0,04	0,48
IPR 127	0,52	0,02	-1,42	-1,16	-4,65	0,11	-0,43
AG 1051	-2,00	-2,04	0,72	-16,10	-6,97	-0,20	0,12

Verifica-se que a soma de quadrados da CGC foi 1,4, 1,77, 1,4, 3,12 e 2,23 vezes maior que a soma de quadrados da CEC, para as características para  $MV^{fc}$ ,  $MV^{esp}$ , MV, MS e PED, respectivamente. Para as características AP, AE NF o mesmo não ocorre, de forma que a soma de quadrados da CGC foi 17,35, 14,09, 6,85 vezes maior que a soma de quadrados da CEC, prevalecendo então os genes de efeito aditivo no controle destes caracteres.

#### 4.3 Seleção envolvendo várias características - Índice Z

Pela análise do índice Z verifica-se que os genitor AG 4051 se destacou pelo alto valor para a soma das variáveis padronizadas. Porém, apesar de apresentar maior soma, também apresentou alta variância, indicando que os valores não foram estáveis para as características de interesse.

O cruzamento DOW 8420 x AG 8060 associou um alto valor para a soma, e um baixo valor para a variância, indicando que o bom desempenho está

uniformemente distribuído entre as variáveis consideradas, o que no caso seria o genótipo ideal.

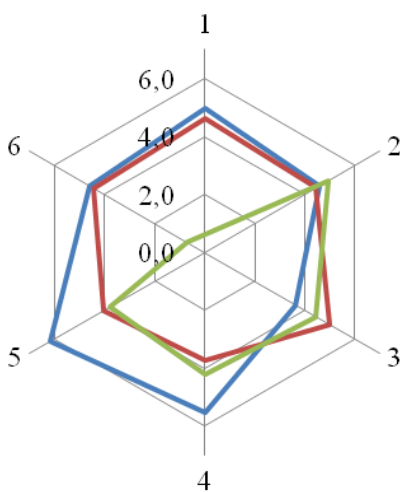
O genitor IPR 127, apesar de apresentar bom desempenho para os caracteres número de folhas (NF) e diâmetro de colmos (DC), se apresentou pouco produtivo, com baixos valores para as variáveis produtividade de matéria seca (MS) e produtividade de espigas despalhadas (PED), associando baixo valor para a soma das variáveis e alto valor para a variância, de forma a tornar desinteressante sua seleção (Gráfico 5).

Uma facilidade para interpretação dos resultados pode ser conseguida com a análise gráfica (Gráfico 5). A partir deste pode-se observar que aqueles genótipos mais promissores caracterizam o gráfico tipo “bola cheia”, como por exemplo o cruzamento DOW 8420 x AG 8060, já os genótipos menos promissores apresentam o gráfico tipo “bola murcha”, como por exemplo o genitor IPR 127.

Tabela 15 Índice Z para as variáveis produtividade se matéria seca (MS), número de folhas (NF), diâmetro de colmos (DC), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente neutro (FDN) e produtividade de espigas despalhadas (PED), soma e variância dos valores de Z, dos 15 cruzamentos<sup>1</sup> e seus genitores, avaliados em duas épocas de semeadura

Genótipo	MS	NF	DC	DIVMS	FDN	PED	Soma	Var.
AG 4051	5,0	4,6	3,6	5,5	6,2	4,6	29,50	0,75
DOW 8420 x AG 8060	4,6	4,5	5,0	3,7	4,0	4,4	26,25	0,20
DOW 8420 x IPR 127	4,2	3,5	5,5	3,9	4,5	4,3	25,99	0,43
BM 3061 x AG 8060	4,3	4,5	3,4	4,9	3,6	4,9	25,60	0,40
AG 8060 x AG 4051	4,3	5,6	3,1	3,7	4,2	4,6	25,46	0,71
AG 4051 x IPR 127	4,5	4,1	4,7	2,9	3,8	5,2	25,16	0,64
AG 8060 x IPR 127	4,4	5,7	3,8	3,4	3,2	4,2	24,76	0,80
DOW 8420 x BM 3061	5,0	3,0	4,0	4,1	3,9	4,7	24,76	0,48
BM 3061	5,5	3,2	4,4	3,1	2,8	5,4	24,36	1,47
DOW 8420 x AG 4051	4,1	3,3	4,5	4,4	4,0	3,5	23,88	0,22
BM 3061 x AG 1051	3,9	3,4	3,6	5,2	3,6	4,1	23,78	0,44
AG 8060 x AG 1051	3,0	3,7	4,8	4,1	4,7	3,2	23,48	0,56
BM 3061 x AG 4051	4,9	3,5	2,7	3,9	3,8	4,3	23,17	0,55
DOW 8420 x AG 1051	3,9	2,6	4,2	4,2	4,8	3,5	23,12	0,57
BM 3061 x IPR 127	4,0	4,3	3,9	3,0	3,2	4,4	22,77	0,33
IPR 127 x AG 1051	3,6	3,6	3,9	3,4	3,7	3,8	21,99	0,03
AG 4051 x AG1051	3,3	3,8	3,2	4,8	3,9	2,9	21,85	0,45
AG 8060	1,7	6,6	1,8	3,3	4,3	1,8	19,47	3,79
DOW 8420	3,3	2,5	2,8	4,7	2,8	3,0	19,15	0,58
IPR 127	0,6	4,9	4,4	4,2	3,8	0,7	18,74	3,75

<sup>1</sup> Considerando a média do F1 e do recíproco



AG 4051 — Dow 8420 x AG 8060 — IPR 127

Gráfico 5 Representação gráfica dos valores padronizados ( $Z_{ij}$ ) de produtividade se matéria seca (MS), número de folhas (NF), diâmetro de colmos (DC), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente neutro (FDN) e produtividade de espigas despalhadas (PED), dos genitores AG 4051 e IPR 127 e do cruzamento Dow 8420 x AG 8060, avaliado em duas épocas de semeadura

## 5 CONCLUSÕES

A semeadura na safrinha reduziu a produtividade e o valor nutricional da forragem.

Existe variabilidade entre as cultivares comerciais de milho para caracteres relacionados a produtividade de forragem.

O genitor AG 4051 se mostrou promissor para início de um programa de melhoramento visando à produção e valor nutricional da forragem.

O cruzamento DOW 8420 x AG 8060 reúne fenótipos favoráveis que se encontravam separados nos genitores, aliando altos valores fenotípicos e uniformidade dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, M. S. et al. Relationship among yield and quality traits of corn hybrids for silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 1, p. 221-229, Jan. 1991.

ARGILLIER, O.; MÉCHIN, V.; BARRIÉRE, Y. Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 6, p. 1596-1600, June 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. **Oferta e demanda do milho**. São Paulo, 2011. Disponível em:  
<<http://www.abimilho.com.br/estatistica>>. Acesso em: 4 jan. 2011.

BARRIÉRE, Y. et al. Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops: a review. **Animal Research**, Les Ulis, v. 52, n. 3, p. 193-228, June 2003.

\_\_\_\_\_. Genetic variation for lignin content and cell wall digestibility in early maize lines derived from ancient landraces. **Maydica**, Bergamo, v. 55, n. 1, p. 65-74, 2010.

\_\_\_\_\_. Genetic variation for organic matter and cell wall digestibility in silage maize: lessons from a 34-year long experiment with sheep in digestibility crates. **Maydica**, Bergamo, v. 49, n. 1, p. 115-126, 2004.

\_\_\_\_\_. Past and prospects of forage maize breeding in Europe: I., the grass cell wall as a basis of genetic variation and future improvements in feeding value. **Maydica**, Bergamo, v. 50, n. 1, p. 259-274, Mar. 2005.

BASTOS, I. T. et al. Análise dialélica em clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 199-206, 2003.

BENIN, G. et al. Combining ability of wheat genotypes estimated by multivariate analysis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1145-1151, set. 2009.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma, 2002. 369 p.

BLASEL, H. M.; HOFFMAN, P. C.; SHAVER, R. D. Degree of starch access: an enzymatic method to determine starch degradation potential of corn grain and corn silage. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 128, n. 1, p. 96-107, Jan. 2006.

BRUM JÚNIOR, B. de S. et al. Dietas para frangos de corte contendo quirera de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1423-1429, set./out. 2007.

CAETANO, H. et al. Nutritional characteristics and *in vitro* digestibility of silages from different corn cultivars harvested at two cutting heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 40, n. 4, p. 708-714, 2011.

CARGNELUTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 17-24, jan. 2007.

\_\_\_\_\_. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 111-117, fev. 2009.

CHAVES, L. G. et al. Parental commercial maize selection for silage production. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 2, p. 183-194, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2010/11: décimo segundo levantamento**. Brasília, 2011a. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2011/12: terceiro levantamento**. Brasília, 2011b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

COORS, J. G.; CARTER, P. R.; HUNTER, R. B. Silage corn. In: HALLAUER, A. R. (Ed.). **Specialty corns**. Boca Raton: CRC, 1994. p. 305-340.

CORRÊA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, Madison, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, Nov. 2002.

COSTA, M. G. et al. Desempenho produtivo de vacas leiteiras alimentadas com diferentes proporções de cana-de-açúcar e concentrado ou silagem de milho na dieta. **Revista Brasileira Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 34, n. 6, p. 2437-2445, nov./dez. 2005.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003. v. 2, 585 p.

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

CRUZ, C. D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 425-438, abr./jun. 1989.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SILVA, G. H. da. **Milho**: cultivares para 2011/2012: mais de 170 cultivares transgênicas são disponibilizadas no mercado de sementes do Brasil para a safra 2011/12. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 4 jan. 2012.

EISENHART, C. The assumptions underlying analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 3, n. 1, p. 1-42, 1955.

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

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 760 p.

FONTANELI, R. S. et al. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 11, p. 2116-2120, nov. 2009.

FREY, T. J. et al. Selection for silage quality in the Wisconsin Quality Synthetic and related maize populations. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 4, p. 1200-1208, Apr. 2004.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related population. **Biometrics**, Washington, v. 22, n. 3, p. 439-452, 1966.



GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 419-430, abr./jun. 1988.

GOMES, M. de S. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho para produtividade de matéria seca e degradabilidade ruminal da silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 83-90, 2002.

\_\_\_\_\_. Análise dialélica da degradabilidade *in situ* da matéria seca da silagem de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 108-119, 2004.

\_\_\_\_\_. Alternativas para seleção de híbridos de milho envolvendo vários caracteres visando à produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 406-421, 2006.

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

GUSTAFSON, T. J.; COORS, J. G.; DE-LEON, N. Selection for forage yield and composition on the Wisconsin Quality Synthetic maize population. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1795-1804, May 2010.

HUNT, C. W.; KEZAR, W.; VINANDE, R. Yield, chemical composition, and ruminal fermentability of corn whole plant, ear, and stover as affected by hybrid. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, n. 2, p. 286-290, Apr. 1992.

KAYS, S. E.; WINDHAM, W. R.; BARTON, F. E. Prediction of total dietary fiber in cereal products using near-infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 44, n. 8, p. 2266-2271, Aug. 1996.

LAUER, J. G.; COORS, J. G.; FLANNERY, P. J. Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 5, p. 1499-1452, May 2001.

LOPEZ, C. G.; BERTOIA, L. M.; BURAK, R. Heterosis and heterotic patterns among maize landraces for forage. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 9, n. 3, p. 229-238, 2009.

MAGALHÃES, A. L. R. et al. Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: desempenho e viabilidade econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 33, n. 5, p. 1292-1302, set./out. 2004.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, out. 2009.

MENDES, M. C. et al. Avaliação de híbridos de milho obtidos do cruzamento entre linhagens com diferentes níveis de degradabilidade da matéria seca. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 285-297, 2008.

MIRANDA FILHO, J. B.; GERALDI, I. O. An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 677-688, abr./jun. 1984.

NASCIMENTO, W. G. do et al. Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 37, n. 5, p. 896-904, set./out. 2008.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 3, p. 589-596, Mar. 1999.

PARRA, J. R. et al. Heterosis and combining ability among maize narrow-base populations. **Maydica**, Bergamo, v. 55, n. 1, p. 75-83, 2010.

PEDERSEN, J. F.; VOGEL, K. P.; FUNNELL, D. Impact of reduced lignin on plant fitness. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 812-819, Mar. 2005.

PEGORARO, D. G. et al. Herança da resistência a mancha foliar de feosféria em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 329-336, mar. 2002.

PEREIRA, J. L. A. R. et al. Influência das características qualitativas dos componentes da planta de milho na degradabilidade da matéria seca da planta inteira. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p. 158-170, 2011.

PEREIRA, M. N. et al. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. **Science Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 358-363, 2004.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PINTER, J.; HADI, G.; MARTON, C. L. Utilizing leafy genes as resources in quality silage maize breeding. **Maydica**, Bergamo, v. 56, n. 3, p. 243-250, Sept. 2011.

QUEIROZ, O. C. M. et al. Silagem de cana-de-açúcar comparada a fontes tradicionais de volumosos suplementares no desempenho de vacas de alta produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 37, n. 2, p. 358-365, mar./abr. 2008.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 326 p.

REIF, J. C.; HALLAUER, A. R.; MELCHINGER, A. E. Heterosis and heterotic patterns in maize. **Maydica**, Bergamo, v. 50, n. 3/4, p. 215-223, 2005.

RESTAINO, E. A. et al. Prediction of the nutritive value of pasture silage by near infrared spectroscopy (NIRS). **Chilean Journal of Agricultural Research**, Santiago de Chile, v. 69, n. 4, p. 560-566, 2009.

RODRIGUES, M. C.; CHAVES, L. J.; PACHECO, C. A. P. Heterosis in crosses among white grain maize populations with high quality protein. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 59-66, jan. 2006.

SAN EMETERIO, F. et al. Effect of coarse or fine grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Madison, v. 83, n. 12, p. 2839-2848, Dec. 2000.

SATTLER, S. E.; FUNNELL-HARRIS, D. I.; PEDERSEN, J. F. Brown midrib mutations and their importance to the utilization of maize, sorghum, and pearl millet lignocellulosic tissues. **Plant Science**, Shannon, v. 178, n. 3, p. 229-238, Mar. 2010.

SCHEFFLER, T. A. et al. Estimates of heterosis and inbreeding depression for crosses of Iowa maize populations. **Maydica**, Bergamo, v. 53, n. 3/4, p. 189-198, 2008.

- SILVA, P. C. et al. Avaliação de híbridos interpopulacionais de milho quanto a características químicas e agronômicas para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 111-120, 2003.
- SILVA, S. D. A. e et al. Capacidade combinatória de genótipos de milho para tolerância ao encharcamento do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 391-396, mar./abr. 2006.
- SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT user's guides**. Version 9. Cary, 2002. Software.
- TANG, S. X. et al. Morphological fractions, chemical composition and in vitro fermentation characteristics of maize stover of five genotypes. **Animal**, Cambridge, v. 2, n. 12, p. 1772-1779, Dec. 2008.
- TJARDES, K. E. et al. Brown midrib-3 corn silage improves digestion but not performance of growing beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 11, p. 2957-2965, Nov. 2000.
- VIVEK, B. S. et al. Diallel analysis of grain yield and resistance to seven diseases of 12 African maize (*Zea mays* L.) inbred lines. **Euphytica**, Wageningen, v. 172, n. 3, p. 329-340, Mar. 2010.
- ZHANG, Y.; KANG, M. S.; LAMKEY, K. R. Diallel-SAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1097-1106, July/Aug. 2005.
- ZOPOLLATTO, M. et al. Alterações na composição morfológica em função de estágio de maturação em cultivares de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 3, p. 452-461, maio/jun. 2009.