

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

RODRIGO MARTINS DE OLIVEIRA

RESISTÊNCIA DE COLMO À PENETRAÇÃO COMO PREDITOR DA QUALIDADE DE
COLMOS EM MILHO

PONTA GROSSA
2015

RODRIGO MARTINS DE OLIVEIRA

RESISTÊNCIA DE COLMO À PENETRAÇÃO COMO PREDITOR DA QUALIDADE DE
COLMOS EM MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre
em Agronomia, área de concentração Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello

PONTA GROSSA
2015

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

048 Oliveira, Rodrigo Martins de
Resistência de colmo à penetração como
preditor da qualidade de colmos em milho/
Rodrigo Martins de Oliveira. Ponta Grossa,
2015.
45f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia -
Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues
Matiello.

1.Zea mays L.. 2.Quebramento de colmo.
3.Rendimento de grãos. 4.Acamamento..
I.Matiello, Rodrigo Rodrigues. II.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 633.15



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

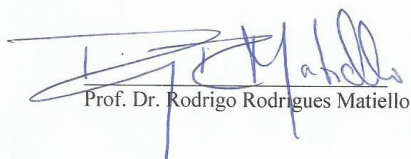
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Resistência de colmo à penetração como preditor da qualidade de colmos em milho”.**

Nome: Rodrigo Martins de Oliveira

Orientador: Rodrigo Rodrigues Matiello

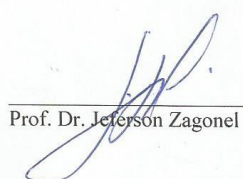
Aprovado pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello



Dr. Igor Quirrenbach de Carvalho



Prof. Dr. Jefferson Zagonel

Data da Realização: 22 de dezembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde e motivação para realizar este trabalho.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Matiello pelo acolhimento, paciência, confiança, conselhos e conhecimentos que possibilitaram a conclusão desta dissertação.

Aos meus pais e irmãos pelo amor incondicional e dedicação durante minha vida, possibilitando finalizar mais esta conquista.

À minha esposa Kamila de Oliveira da Rosa por todo amor e companheirismo.

Aos colegas do laboratório de Genética Molecular: Caroline Coelho, Lilian Schafascheck pela ajuda e amizade que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos colegas de trabalho pelo auxílio nas atividades de campo e elaboração do trabalho.

Aos meus amigos pelo companheirismo e amizade que levarei por toda vida.

À Dow AgroSciences Sementes e Biotecnologia Brasil Ltda pela oportunidade e apoio financeiro durante todo o trabalho.

EPÍGRAFE

“Muitas das grandes realizações do mundo foram feitas por homens cansados e desanimados que continuaram trabalhando”

(Kléber Novartes)

RESUMO

Estima-se perdas anuais de até 25% na produção mundial de milho em consequência do acamamento e do quebramento do colmo. A utilização de híbridos resistentes é o principal método de controle, embora utilizar apenas a avaliação visual seja bastante limitada. Dessa forma, é imprescindível encontrar metodologias para avaliar a qualidade dos colmos com alta correlação com o quebramento de colmo à campo e que seja eficaz na detecção de diferenças nos níveis de resistência ao quebramento. O objetivo deste trabalho foi estimar as correlações entre características agronômicas e atributos associados ao quebramento de colmos de híbridos e linhagens endogâmicas de milho. Adicionalmente, selecionar genótipos que reúnam simultaneamente o maior número de características associadas à qualidade de colmos e ao rendimento de grãos através da análise de componentes principais. Foram realizados quatro experimentos de híbridos de milho e um de linhagens endogâmicas para avaliação da resistência dos colmos ao quebramento como preditor da qualidade de colmos em milho na safra 2013/2014. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com doze tratamentos e quatro repetições para os experimentos com híbridos e dezesseis tratamentos e três repetições para o experimento com linhagens endogâmicas. Os dados dos experimentos de híbridos e de linhagens foram submetidos à análise de correlação de Pearson através do software estatístico GENES, e a análise de componentes principais através do software R versão 2.15.2. A qualidade física dos colmos representada principalmente pelas características quebramento de colmo, acamamento e resistência do colmo à penetração demonstraram ser limitantes para a seleção de genótipos superiores de milho, pois o quebramento dos colmos nos híbridos de milho afetou negativamente o rendimento de grãos nos experimentos. A avaliação da resistência à penetração do colmo nas linhagens endogâmicas teve correlação significativa e negativa de 60% com o quebramento de colmo, o que a torna passível de utilização para a seleção de linhagens com maior qualidade física dos colmos, possibilitando a detecção de diferenças nos níveis de resistência ao quebramento dos colmos entre as linhagens endogâmicas. Através da análise de componentes principais foi possível a identificação das linhagens endogâmicas de milho L2, L3, L6, L13 e L14 e os híbridos P30F53YH, 30A37PW, DKB240PRO2 e H14 com o maior número de características favoráveis para qualidade física dos colmos e potencial para o rendimento de grãos.

Palavras-chave: Zea mays L., quebramento de colmo, rendimento de grãos, acamamento.

ABSTRACT

Annual losses of up to 25% of world corn production are stimulated as a result of stalk lodging and root lodging. The use of resistant hybrids is the main method of control, though only use the visual evaluation is very limited. In this context, it is crucial to find methods to evaluate the quality of stalks with high correlation with stalk lodging that could be effective to detect level differences of resistance to stalk lodging. The objective of this study was to estimate the correlation between agronomic characteristics and attributes associated with stalk lodging of corn hybrids and their inbred lines. Additionally, select genotypes that simultaneously have the highest number of characteristics associated with stalk quality and grain yield by principal component analysis. There were performed four experiments using corn hybrids and one experiment with inbred lines for evaluation of corn stalk penetration resistance as predictor of corn stalk quality in the 2013/2014 season. The experimental design was a randomized block design with twelve treatments and four reps for experiments with hybrid and sixteen treatments and three reps for the experiment with inbred lines. The results of the hybrids and inbred lines experiments were submitted to Pearson correlation analysis through the GENES statistical software, and principal component analysis was performed by the R software 2.15.2. The physical stalk quality represented mainly by stalk lodging, root lodging and corn stalk penetration resistance proved to be limiting for the selection of superior corn genotypes, because corn stalk lodging affected negatively the grain yield in corn hybrids. The stalk penetration resistance evaluation in inbred lines showed a significant negative correlation of 60% with stalk lodging, which makes this evaluation suitable for use to select inbred lines with enhanced physical quality of the stalks, enabling the detection of differences in stalk lodging resistance levels from the inbred lines. Using the principal component analysis was possible the identification of the corn inbred lines L2, L3, L6, L13 and L14, also the hybrids P30F53YH, 30A37PW, DKB240PRO2 and H14 with the most favorable characteristics for stalk physical quality for corn grain yield.

Keywords: Zea mays L., Stalk lodging, Corn yield, Root Lodging

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quebramento de colmo (% de plantas parcela ⁻¹) correlacionado com o rendimento de grãos de milho (ton ha ⁻¹) em experimentos de híbridos de milho. * P < 0,05.....	27
Figura 2 - Altura de inserção de espiga principal (cm) correlacionada com o acamamento de plantas (% de plantas parcela ⁻¹) em experimentos de híbridos de milho. * P < 0,05.....	28
Figura 3 - Quebramento de colmo (% de plantas parcela ⁻¹) correlacionado com a resistência do colmo à penetração (Kg). * P < 0,05.....	30
Figura 4 - Escores dos híbridos de milho para os dois primeiros componentes principais a partir da avaliação de quatro experimentos de campo. Ponta Grossa, 2015.....	33
Figura 5 - Escores das linhagens de milho para os dois primeiros componentes principais. Ponta Grossa, 2015.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos híbridos, genealogia e empresa detentora utilizados nos quatro experimentos de campo. Ponta Grossa, 2015.	20
Tabela 2 - Relação das linhagens endogâmicas utilizadas no experimento de campo. Ponta Grossa, 2015.	20
Tabela 3 - Escore do primeiro componente principal (Y_1) para n tratamentos..	25
Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as oito características avaliadas em 12 híbridos de milho avaliados em quatro experimentos nos municípios de Castro-PR (2), Tibagi-PR e Itararé-SP. Ponta Grossa, 2015..	26
Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Pearson entre seis características avaliadas em 16 linhagens de milho no município de Castro-PR. Ponta Grossa, 2015... ..	29
Tabela 6 - Estimativas dos autovalores λ_j associados aos componentes principais, importância relativa (λ_j %) e a variância fenotípica total acumulada (%) nos experimentos de híbridos de milho. Ponta Grossa, 2015.....	31
Tabela 7 - Autovetores dos dois primeiros componentes principais e importância relativa de cada variável fenotípica para a formação do componente principal nos experimentos de híbridos de milho. Ponta Grossa, 2015.....	32
Tabela 8 - Estimativas dos autovalores λ_j associados aos componentes principais, importância relativa (λ_j %) e a variância fenotípica total acumulada (%) no experimento de linhagens de milho. Ponta Grossa, 2015.....	34
Tabela 9 - Autovetores dos dois primeiros componentes principais e importância relativa de cada variável fenotípica para a formação do componente principal no experimento de linhagens de milho. Ponta Grossa, 2015.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	A CULTURA DO MILHO	13
3.2	QUEBRAMENTO DE COLMO.....	12
3.3	MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COLMO EM MILHO ..	14
3.4	CORRELAÇÃO DE PEARSON	15
3.5	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	16
3.6	SELEÇÃO MÚLTIPLA DE CARACTERÍSTICAS	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	19
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS .	19
4.3	AVALIAÇÕES FENOTÍPICAS	22
4.4	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	24
4.5	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	24
4.5.1	Determinação dos Componentes Principais (CP's).....	25
4.5.2	Contribuição de cada Componente Principal	26
4.5.3	Interpretação e Escores dos Componentes Principais	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	CORRELAÇÃO DE PEARSON	26
5.1.1	Experimentos com híbridos	26
5.1.2	Experimento com linhagens	28
5.2	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	30
5.2.1	Experimentos com híbridos	30
5.2.2	Experimento com linhagens	34
6	CONCLUSÕES.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O milho é um cereal cultivado em quase todas as propriedades agrícolas brasileiras, tem grande importância na indústria alimentícia e principalmente na cadeia produtiva de aves, bovinos e suínos. Embora o Brasil seja o terceiro maior produtor mundial de milho, a produtividade média nacional ainda é baixa quando comparada a de outros países. Na safra de 2014/15, a média de produtividade das lavouras brasileiras foi de 5.009 kg ha^{-1} , o que representa um crescimento de 4,7% em relação à produtividade do ano anterior (CONAB, 2015). Ao longo dos anos, a média de produtividade brasileira tem aumentado lentamente e ainda está muito aquém dos resultados alcançados por outros países, como os Estados Unidos, que colheram em média $10.734 \text{ kg ha}^{-1}$ na safra 2014 (NASS-USDA, 2015). Além disso, são estimadas perdas anuais entre 5 e 20% em consequência do acamamento e quebramento de colmo na cultura (ZUBER; LOESCH, 1962; INSTITUTO FNP, 2007).

O quebramento de colmo é um fenômeno complexo e sua expressão depende da interação de fatores genéticos e ambientais (CRUZ et al., 2003). Este problema é frequentemente favorecido por injúrias causadas por insetos, granizo, ventos, doenças foliares, de colmo e de raízes (ZUBER; LOESCH, 1962; EASSON; WHITE; PICKLES, 1993). A utilização de híbridos resistentes é o principal método de controle, porém a seleção de híbridos resistentes utilizando apenas a avaliação visual do número de plantas quebradas é bem limitada, pois muitas vezes o ambiente não favorece o quebramento.

Neste contexto, é imprescindível encontrar metodologias para avaliar a qualidade de colmo que possam ser usados como indicadores de resistência ao quebramento, independentemente do ano ou da local. Para ser considerada eficaz, a metodologia deve ter uma alta correlação com o quebramento de colmo à campo e ser eficaz na detecção de diferenças nos níveis de resistência ao quebramento. Além disso, passível de ser utilizada em larga escala e com baixo custo operacional.

Métodos mais adequados de avaliação da resistência do colmo ao quebramento podem auxiliar os programas de melhoramento de milho no sentido de conseguir identificar boas fontes de resistência ao quebramento, passíveis de serem utilizadas em esquemas de cruzamentos que possibilitem entender o controle genético envolvido na resistência bem como melhorar a eficiência no desenvolvimento genético de novos híbridos comerciais com elevada resistência ao acamamento de plantas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar as correlações entre características agronômicas e atributos associados ao quebraimento de colmos de híbridos e linhagens endogâmicas de milho. Adicionalmente, selecionar genótipos que reúnam simultaneamente o maior número de características associadas à qualidade de colmos e ao rendimento de grãos através da análise de componentes principais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Propor formas de avaliação fenotípica que possibilitem inferir sobre resistência ao quebraimento de colmos que possam ser utilizadas pelos programas de melhoramento de milho.

Identificar um método de avaliação eficaz na detecção de diferenças nos níveis de resistência ao quebraimento do colmo passível de ser utilizado em larga escala e que possa ser utilizado mesmo na ausência de quebraimento.

Selecionar as linhagens endogâmicas e os híbridos que agreguem o maior número de características favoráveis para a qualidade de colmo e para o rendimento de grãos através da análise de componentes principais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A CULTURA DO MILHO

O milho é o cereal cultivado mais expressivo em produção no Brasil, com mais de 81 milhões de toneladas na safra 2014/2015. Cereal cultivado na grande maioria das propriedades agrícolas brasileiras, com relevante importância na indústria alimentícia e principalmente na cadeia produtiva de aves, bovinos e suínos. Embora o Brasil seja o terceiro maior produtor mundial de milho, a produtividade média nacional ainda é baixa quando comparada a de outros países. Na safra 2014/2015, a média de produtividade das lavouras brasileiras foi de 5.009 kg ha⁻¹, o que representa um crescimento de 4,7% em relação à produtividade da safra anterior (CONAB, 2015). Ao longo dos anos, a média de produtividade brasileira tem aumentado lentamente e ainda está muito aquém dos resultados alcançados por outros países, como os Estados Unidos, que colheram em média 10.734 kg ha⁻¹ na safra 2014 (NASS-USDA, 2015).

Destaca-se no cenário internacional como o cereal mais produzido com produção mundial de 991,4 milhões de toneladas. O Brasil encontra-se entre os principais produtores mundiais de milho, ocupando a terceira posição, com produção aproximada de 81 milhões de toneladas, atrás apenas dos Estados Unidos da América e da China com 344,3 e 225,0 milhões de toneladas, respectivamente (NASS-USDA, 2015). Em 2014, totalizando a produção das duas safras houve um incremento na produção de 1,75% em relação à safra anterior. No Brasil, a área semeada foi de aproximadamente 15,4 milhões de hectares. Os maiores produtores nacionais do grão são os estados do Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul, os quais obtiveram produção de 18,3; 15,1 e 8,2 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2015).

Apesar do destaque no cenário mundial, o Brasil não se encontra entre os países com as melhores produtividades, obtendo amplitude de produtividade de 0,3 a 7,8 t ha⁻¹, nos estados de Pernambuco e Santa Catarina, respectivamente (CONAB, 2015). Alguns dos entraves que têm proporcionado estas produtividades tão baixas estão relacionados a qualidade de colmo e raiz das plantas, onde já foram estimadas perdas anuais entre 5 e 25% em consequência do acamamento e quebraimento de colmo na cultura (ZUBER; LOESCH, 1962; INSTITUTO FNP, 2007).

3.2 QUEBRAMENTO DE COLMO

O colmo do milho, além de sustentar as folhas e espigas, é uma considerável reserva de fotoassimilados (DUNCAN; HATFIELD; RAGLAND, 1965; TOLLENAAR; DAYNARD, 1978a), os quais são translocados para as espigas (FRANCIS et al., 1978; ALLISON; WATSON 1996, JONES; SIMMONS, 1983). Há evidência de que uma mobilização considerável de fotoassimilados ocorre durante o período de enchimento dos grãos (ADELANA; MILBOURN, 1972; JONES; SIMMONS, 1983; LUCAS, 1981). Essa mobilização ocorre especialmente quando os requerimentos de carboidratos pelos grãos excedem a produção de fotoassimilados pela planta (TOLLENAAR; DAYNARD, 1978 b).

Quando o aparato fotossintético não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, a maior demanda exercida pelos grãos por esses produtos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; SANGOI et al., 2001b; FONTOURA et al., 2006).

Allison e Watson (1966), concluíram que em ambientes desfavoráveis, o colmo demonstra maior participação do que em ambientes favoráveis, ou seja, maior quantidade de fotoassimilados é alocada do colmo para o grão em situação de estresse, quando as folhas são menos saudáveis. Esse problema ocorre, geralmente, no final do ciclo, quando o colmo parece não ser capaz de sustentar a espiga, ocasionando a quebra da planta (MAGALHÃES; MAGNAVACA; OLIVEIRA, 1991). Na produção mundial de milho são estimadas perdas anuais de 5 a 25%, em consequência do acamamento e do quebramento do colmo (ZUBER; KANG, 1978).

O quebramento e o acamamento são fenômenos complexos, e sua expressão depende de fatores genéticos, interrelacionados com fatores do clima, do solo, das práticas culturais adotadas (CRUZ et al., 2003), além de danos causados por pragas e doenças. Entre os principais agentes que promovem acamamento e quebramento destacam-se o vento e a chuva (EASSON; WHITE; PICKLES, 1993).

Os efeitos do quebramento sobre o rendimento de grãos dependem principalmente do genótipo, da severidade e da fase de desenvolvimento da cultura em que se manifesta (FEDERIZZI; FANTINI; CARVALHO, 1994). O quebramento pode ser definido como a quebra do colmo em qualquer internódio abaixo da espiga e ocorre principalmente quando a planta está em fase de maturação. O primeiro e o segundo entrenós, da porção basal do colmo com maior comprimento, mostraram correlação positiva com a predisposição ao quebramento, em comparação a genótipos com entrenós basais de menor comprimento (PINTHUS, 1973). Quanto mais cedo o quebramento se manifestar durante o desenvolvimento da cultura, menor

será o rendimento e a qualidade dos grãos, além de prejudicar o processo de colheita mecanizada (ZANATTA; OERLECKE, 1991).

Segundo Gomes et al. (2010), existe variabilidade genética para resistência ao acamamento e ao quebramento do colmo em milho tropical. Além disso, a resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo interage significativamente com o local, desta forma a seleção desses caracteres deve ser realizada com base nas médias de experimentos com repetições em diversos locais. Ferreira et al. (2009), verificaram interação significativa de tratamento x local quanto à percentagem de plantas acamadas e não significativa para percentagem de plantas quebradas. Ressalta-se que esses resultados foram obtidos pela contagem de plantas acamadas e quebradas.

Maior estatura de planta, maior altura de inserção de espiga principal, menor diâmetro do colmo e a sua maior fragilidade em altas densidades favorecem o aumento da percentagem de plantas acamadas e quebradas antes da colheita (SANGOI, 2001a). A baixa qualidade de colmo e a maior incidência de doenças são as duas limitações mais importantes para o aumento na densidade de plantas na lavoura de milho (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

A arquitetura de plantas dos híbridos modernos contribui para reduzir a suscetibilidade ao acamamento e a quebra de colmos. Sangoi et al. (2001a), verificaram que os híbridos antigos apresentaram mais de 20% das plantas acamadas e quebradas na colheita, enquanto os híbridos modernos mantem as plantas eretas até o final do ciclo da cultura. Tais características foram atribuídas à maior precocidade, à menor estatura de plantas, à menor área foliar e à presença de folhas mais curtas e eretas dos híbridos modernos.

Duvik (1974), concluiu que o alto grau de quebramento do colmo verificado nos híbridos prolíficos, em níveis médios e altos de densidade de plantas, pode ter ocorrido porque as plantas dificilmente apresentam-se sem espigas e que, devido à competição por metabólitos entre colmo e espiga, uma maior tensão foi colocada no colmo dos tipos prolíficos. Neste trabalho, não foi eliminada a hipótese de ligação genética entre prolificidade e maior suscetibilidade das plantas às podridões do colmo.

Magalhães et al. (1998), ressaltam que os fatores abióticos e bióticos devem ser levados em consideração numa avaliação e que a drenagem excessiva de fotoassimilados do colmo para a espiga não pode ser considerada como o único fator ou o principal para explicar o quebramento do colmo do milho, pois cultivares comerciais presumivelmente tidas como suscetíveis ao quebramento, nem sempre são as mais produtivas em relação às resistentes devido esta característica ser altamente influenciada pelo ambiente.

Pelas variações apresentadas nos fenótipos, a suscetibilidade ao quebramento do colmo apresenta evidências de herança quantitativa, e a seleção para esses caracteres não é eficiente apenas pela contagem do número de plantas quebradas. A evolução dos estudos desses caracteres tem sido limitada pela ausência de difusão de uma metodologia eficiente de avaliação.

3.3 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COLMO EM MILHO

Geralmente os programas de melhoramento de milho avaliam a resistência ao quebramento do colmo contando o número de plantas quebradas um pouco antes da colheita. Esta informação tem sido errática e os coeficientes de variação muito elevados, restringindo os ganhos com a seleção, pois a variabilidade das condições ambientais como vento, altitude e condições do solo torna este método pouco eficaz para avaliação da resistência ao quebramento (SIBALE; DARRAH; ZUBER, 1992).

A estrutura do colmo também constitui um dos fatores que afetam o acamamento. Aproximadamente 50 a 80% da resistência do colmo têm sido atribuída à parede (estrutura e composição) e de 20 a 50% ao seu interior (CLONINGER; ZUBER; HORROCKS, 1970; ZUBER; COLBERT; DARRAH, 1980). Chang et al. (1976), demonstraram que a resistência do colmo ao esmagamento está ligada principalmente ao tecido da epiderme.

Alguns métodos indiretos de avaliação têm sido desenvolvidos e usados para avaliar características morfológicas associadas com resistência ao quebramento do colmo em milho, como a resistência à penetração do colmo, amassamento e espessura da epiderme (DAVIS; STANTTON, 1942; MCROSTIE; MACLACHLAN, 1942; ZUBER; GROGAN, 1961; FOLEY, 1962; THOMPSON, 1963).

A seleção indireta, com a avaliação da resistência do córtex do colmo do milho à penetração é menos influenciada pelo ambiente e tem mostrado alta correlação com o quebramento do colmo. A utilização do penetrômetro de colmo já se demonstrou eficiente e possibilita a detecção de diferenças nos níveis de resistência ao quebramento. Ainda passível de ser utilizada em larga escala e com baixo custo operacional (SIBALE DARRAH; ZUBER, 1992; KANG et al., 1999; JAMPATONG et al., 2000; FLINT-GARCIA; MCMULLEN; DARRAH, 2003).

Alguns estudos indicaram que a resistência ao quebramento nos internódios mais inferiores do colmo e a resistência do colmo a podridões tem alta correlação com a resistência

ao quebramento do mesmo (DURRELL, 1925; FOLEY, 1960; FOLEY, 1962; LOESCH; CALVERT; ZUNBER, 1962).

Zuber e Grogan (1961) encontraram correlação negativa altamente significativa entre quebramento do colmo e resistência ao amassamento do colmo, no segundo internódio acima do solo. Adicionalmente, os resultados também demonstraram significativa correlação negativa entre quebramento e características morfológicas, como espessura de casca e densidade de colmo no terceiro internódio acima do solo.

Thompson (1963) relatou que a resistência ao amassamento do colmo foi o melhor método para avaliar a resistência ao quebramento em genótipos de milho.

Cloninger et al. (1969) concluíram que a resistência ao amassamento, espessura de casca e densidade de colmo foram as mais precisas e completas formas de avaliar a qualidade de colmo em milho.

Segundo Gomes et al. (2010), utilizando equipamentos para mensurar a força necessária para quebrar o colmo de milho e arrancar as plantas, concluíram que esta avaliação da resistência é eficiente na discriminação de genótipos resistentes ao acamamento e quebramento, além da melhor compreensão dos caracteres.

Características estruturais dos colmos podem também serem avaliadas por meio de medidas relacionadas à resistência ao esmagamento, dobramento, espessura da casca, peso do colmo e resistência à penetração do colmo (MARTIN; RUSSEL, 1984).

Resumindo, desenvolver uma maneira efetiva para avaliar a resistência do colmo ao quebramento é uma importante questão para aumentar a produtividade e a qualidade dos híbridos de milho no mercado. A maioria dos métodos utilizados no passado para estimar a resistência potencial ao quebramento eram baseados em composição química ou estrutural que requeriam a destruição do colmo do milho. No entanto, mais recentemente a resistência do colmo à penetração tem sido largamente utilizada para estimar a resistência do colmo ao quebramento, pois é um método simples, rápido e que tem apresentado alta correlação com resistência do colmo ao quebramento (PEIFFER et al., 2013).

3.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON

O teste de correlação simples, ou correlação de Pearson, visa investigar quanto uma variável está de alguma forma ligada a outra, o “r” de Karl Pearson é utilizado com o intuito de verificar o grau de correlação linear entre os valores emparelhados da amostra.

Para saber se o coeficiente de correlação de Pearson “r” é significativo, o mesmo é comparado com os valores críticos pré-determinados e disponíveis em tabelas, que levam em consideração a quantidade de dados emparelhados (TRIOLLA, 1999).

Zuber e Grogan (1961) utilizando correlação de Pearson, encontraram correlação negativa e altamente significativa (- 0,81) entre o quebramento do colmo e a resistência ao amassamento do colmo, no segundo internódio acima da superfície do solo. Adicionalmente, os resultados também demonstraram significativa correlação negativa entre o quebramento e as características morfológicas, como espessura de casca e densidade de colmo no terceiro internódio acima da superfície do solo. Além destes, Pinthus (1973), através da análise de correlação simples demonstrou que havia correlação positiva entre o quebramento de colmo e o comprimento dos dois entrenós basais do milho. Martin et al. (2004), estudando a resistência do colmo à penetração como preditor do ataque da broca européia em milho (*Diatraea grandiosella*), encontraram correlação negativa entre os danos da praga e a resistência do colmo à penetração, bem como correlação positiva entre a resistência à penetração e a proporção de lignina presente no colmo das plantas.

3.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A técnica de análise de componentes principais foi inicialmente descrita por Karl Pearson em 1901, sendo consolidada posteriormente por Hotelling (1933). O autor acreditava que era uma solução correta para alguns dos problemas de interesse dos biométricos da época. Apesar de conhecida a muito tempo, somente após os computadores eletrônicos terem se popularizado, é que a técnica de componentes principais alcançou amplo uso (MANLY, 2008).

A metodologia de análise consiste em transformar um conjunto de variáveis originais ($Y_1, Y_2, \dots, Y_p$) em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão ($C_1, C_2, \dots, C_p$), denominadas de componentes principais. Pode ser considerada uma técnica exata, pois em sua composição não existe a presença do erro, portanto, possui estrutura basicamente matemática. O novo conjunto de variáveis possui propriedades importantes e de grande interesse (FERREIRA, 2008).

De acordo com Cruz (1990), os componentes principais apresentam as seguintes propriedades: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, sendo possível identificar o grau de associação (correlação) de cada variável com o componente principal. Os componentes principais (CP's) são independentes entre si e são estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo da informação, em

termos de variação total contida nos dados iniciais. Uma vez determinados os CP's, os seus valores numéricos, denominados de escores, podem ser calculados para cada observação. Além do mais, os valores de cada componente podem ser analisados, utilizando-se técnicas estatísticas usuais como análise de variância e análise de regressão.

3.6 SELEÇÃO MÚLTIPLA DE CARACTERÍSTICAS

Para obter genótipos com alta qualidade de colmo é necessário que o material selecionado reúna simultaneamente além do alto potencial produtivo, uma série de características relacionadas a qualidade de colmo, satisfazendo as exigências do produtor e das empresas de sementes. Nos programas de melhoramento genético, os pesquisadores avaliam um grande número de variáveis fenotípicas, porém encontram dificuldades em selecionar indivíduos/genótipos que reúnam o maior número de características de interesse.

Para o melhoramento da qualidade de colmo a seleção com base em uma, ou em poucas características tem se mostrado pouco eficiente para a obtenção de genótipos superiores. No entanto, a partir de métodos estatísticos multivariados, como a análise de componentes principais, uma série de características originais correlacionadas entre si, são condensadas em novas variáveis denominadas componentes principais. Os novos valores numéricos (escores) são obtidos para cada genótipo e dessa forma é possível a seleção de indivíduos que reúnem simultaneamente num só genótipo um elevado número de características de interesse (LEDO; FERREIRA; RAMALHO, 2003).

Na avaliação de sete caracteres agronômicos em 47 genótipos de feijão caupi, Bertini et al. (2010), por meio da análise de componentes principais, relataram que os três primeiros componentes explicaram 80,32% da variância total. Através da análise gráfica dos escores em três dimensões foi possível a avaliação da divergência genética entre os genótipos de feijão caupi e conseqüentemente a identificação dos indivíduos mais contrastantes, que ao serem cruzados poderiam gerar combinações gênicas mais promissoras. Com base no índice de seleção de soma dos ranks e utilizando uma pressão de seleção de 27%, os autores identificaram 13 genótipos superiores, os quais demonstraram as melhores combinações para porte de planta, rendimento de grãos, precocidade para a maturação e qualidade dos grãos.

Khodadadi et al. (2011) determinaram a diversidade genética de 36 cultivares de trigo através da análise de componentes principais, que permitiu o agrupamento dos genótipos em seis grupos. O que facilitou a interpretação da relação que se tinha entre os genótipos,

auxiliando os melhoristas na tomada de decisão, buscando sempre a diversidade genética e posterior seleção de genótipos mais estáveis e produtivos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para a avaliação da qualidade dos colmos de híbridos de milho foram realizados quatro experimentos na safra agrícola 2013/2014, nos respectivos locais:

- Castro/PR 1: Chácara Mulder (24° 47'21"S, 49°54'07"W), com altitude de 1015 m e precipitação pluvial anual média de 1.550 mm. Semeadura em 28/09/2013.
- Castro/PR 2: Chácara Mulder (24° 47'09"S, 49°53'55"W), com altitude de 1000 m e precipitação pluvial anual média de 1.550 mm. Semeadura em 10/10/2013.
- Itararé/SP: Fazenda Ponte Alta (24°05'17"S, 49°19'20"W), com altitude de 740 m e precipitação pluvial anual média de 1.300 mm. Semeadura em 21/09/2013.
- Tibagi/PR: Fazenda Bowman (24° 32'17"S, 50°18'42"W), com altitude de 960 m e precipitação pluvial anual média de 1.350 mm. Semeadura em 18/10/2013.

Para a avaliação da qualidade dos colmos de linhagens endogâmicas foi instalado um experimento no município de Castro/PR, (24° 47'18"S, 49°53'59"W) com altitude de 1010 m e precipitação pluvial anual média de 1.550 mm. Semeadura em 28/09/2013. Pela baixa disponibilidade de sementes das linhagens foi realizado apenas um experimento de avaliação.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Nos quatro experimentos de campo com os híbridos de milho foi adotado o delineamento experimental de blocos aleatorizados, com quatro repetições. Em cada experimento foram avaliados 12 híbridos, sendo 10 híbridos da Dow AgroSciences, um da Pioneer e um da Dekalb (Tabela 1).

Para o experimento de linhagens endogâmicas foi utilizado o delineamento experimental em blocos aleatorizados, com três repetições. Foram avaliadas 16 linhagens endogâmicas do programa de melhoramento da Dow AgroSciences (Tabela 2). Em todos cinco experimentos de campo a unidade experimental foi constituída por 4 linhas de 4 m de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,5 m e área total de 8 m².

Tabela 1 – Relação dos híbridos, genealogia e empresa detentora utilizados nos quatro experimentos de campo. Ponta Grossa, 2015.

Tratamentos	Híbridos	Genealogia	Empresa Detentora
01	P30F53YH	-	Pioneer
02	DKB240PRO2	-	Dekalb
03	30A37PW	L13 x L8	Dow AgroSciences
04	2A550PW	L1 x L8	Dow AgroSciences
05	2B433PW	L2 x L8	Dow AgroSciences
06	2B587PW	L3 x L8	Dow AgroSciences
07	2B710PW	L4 x L9	Dow AgroSciences
08	13K099PW	L14 x L15	Dow AgroSciences
09	13B419PW	L5 x L10	Dow AgroSciences
10	12K349PW	L6 x L10	Dow AgroSciences
11	13K030PW	L7 x L11	Dow AgroSciences
12	13K109PW	L16 x L9	Dow AgroSciences

Tabela 2 – Relação das linhagens endogâmicas utilizadas no experimento de campo. Ponta Grossa, 2015.

Tratamentos	Linhagens	Empresa
01	L1	Dow AgroSciences
02	L2	Dow AgroSciences
03	L3	Dow AgroSciences
04	L4	Dow AgroSciences
05	L5	Dow AgroSciences
06	L6	Dow AgroSciences
07	L7	Dow AgroSciences
08	L8	Dow AgroSciences
09	L9	Dow AgroSciences
10	L10	Dow AgroSciences
11	L11	Dow AgroSciences
12	L12	Dow AgroSciences
13	L13	Dow AgroSciences
14	L14	Dow AgroSciences
15	L15	Dow AgroSciences
16	L16	Dow AgroSciences

Nos cinco experimentos de campo as áreas experimentais foram conduzidas em sistema plantio direto. As áreas foram cultivadas no inverno anterior com aveia preta para manutenção do sistema plantio direto e dessecadas após período de florescimento utilizando o herbicida glifosato (Gliz 480 SL) na dose de 2,0 L p.c. ha⁻¹. A semeadura das áreas experimentais foi realizada manualmente com 160 mil sementes por hectare. A adubação utilizada na semeadura foi de 450 kg ha⁻¹ da formula 08-30-20 (N-P₂O₅-K₂O). Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V1 foi realizado o desbaste a fim de deixar uma população de 80 mil plantas por hectare. Foi realizada adubação nitrogenada em cobertura entre os estádios fenológicos V3 e V4 na dose de 200 kg ha⁻¹ de uréia. Para o controle de pragas

foram realizadas três aplicações de inseticidas. Ve: Lambda cialotrina + Tiametoxan (Engeo Pleno) na dose de 0,2 L p.c. ha⁻¹; V1: Beta-Ciflutrina + Imidacloprido (Connect) na dose de 0,75 L p.c. ha⁻¹; V3: Spinosade (Tracer) na dose de 0,05 L p.c. ha⁻¹. Para o controle de plantas daninhas foram realizadas duas aplicações, sendo as duas em V2: Tembotriana (Soberan) na dose de 0,24 L p.c. ha⁻¹ + Óleo mineral (Nimbus) na dose de 1,0 L p.c. ha⁻¹; Atrazina (Primóleo) na dose de 5,0 L p.c. ha⁻¹. Também foi realizada uma aplicação de fungicida em V8: Azoxistrobina + Ciprocanazol (Priori Xtra®) na dose de 0,30 L p.c. ha⁻¹.

As colheitas foram realizadas manualmente na maturação fisiológica, colhendo-se apenas as duas linhas centrais da unidade experimental. Os dados coletados de produtividade foram corrigidos para 13 g kg⁻¹ de umidade e convertidos para ton ha⁻¹ de grãos.

4.3 AVALIAÇÕES FENOTÍPICAS

Os tratamentos (híbridos e linhagens endogâmicas) foram avaliados em ordem cronológica de estágio de desenvolvimento para as seguintes características agronômicas:

- Estatura de planta (EST): medida da superfície do solo até o primeiro nó do pendão em cm. A avaliação correspondeu a média de dez plantas aleatórias por unidade experimental;
- Altura de inserção da espiga principal (IEP): medida da superfície do solo até a inserção da espiga principal em cm. A avaliação correspondeu a média de dez plantas aleatórias por unidade experimental;
- Diâmetro de colmo (DC): medida em cm obtida através de paquímetro digital pela média aritmética do diâmetro de dez colmos em plantas aleatórias da unidade experimental.
- Resistência do colmo à penetração (RP): medida obtida com penetrômetro manual, através de penetração na altura média do terceiro internódio do colmo de dez plantas aleatórias por unidade experimental no estágio fenológico R6. A medida foi registrada como a força máxima exercida durante a penetração em Kg. As medidas foram realizadas através do equipamento Accu Force Cadet digital (AMETEK) com capacidade de 22,7 Kg e alimentado por uma bateria de 9 volts. O equipamento era equipado com uma agulha de 20,6 mm de comprimento e 2,8 mm de diâmetro. Todas as medições foram realizadas com a mesma agulha, e neste trabalho percebeu-se que não há uma relação clara entre o diâmetro da agulha e resistência à penetração, dessa maneira, a força necessária para penetrar o colmo é expressa em Kg ao invés de Kg cm⁻². Esta mesma medida foi utilizada no trabalho de Gibson et al. (2010), devido a dificuldade de entender a relação entre o diâmetro da agulha e resistência à penetração

- Quebramento verde de colmo (GS): obtido através da contagem de plantas com quebramento verde por unidade experimental (Green Snap). Esta característica foi avaliada apenas nos experimentos de híbridos, pois não houve quebra verde de colmo no experimento de linhagens endogâmicas de milho.

- Acamamento (RL): número de plantas com mais de 30° de inclinação em relação à posição vertical por unidade experimental até a data da colheita.

- Quebramento de Colmo (SL): número de plantas que tiveram o colmo quebrado abaixo da espiga principal por unidade experimental até a data da colheita.

- Rendimento de grãos (RG): produção de grãos obtidos nas duas linhas centrais de cada unidade experimental. Os dados da produção foram corrigidos para 13 g kg⁻¹ de umidade e convertidos para rendimento de grãos em ton ha⁻¹.

4.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Os dados coletados das oito variáveis fenotípicas dos experimentos de híbridos e de linhagens foram submetidos à análise de correlação de Pearson através do software estatístico GENES (CRUZ, 2006).

A fórmula do coeficiente de correlação de Pearson é descrita por:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Onde:

x_i e y_i são os valores das variáveis X e Y. $\bar{x}$ e $\bar{y}$ são respectivamente as médias dos valores x_i e y_i .

4.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP's)

Inicialmente todas as variáveis fenotípicas analisadas foram padronizadas, pois foram obtidas de diferentes escalas métricas:

$$X_j = \frac{X_{ij}}{\hat{\sigma}_j}$$

Onde:

X_j : é o valor da variável padronizada;

X_{ij} : é o valor observado da j-ésima variável no i-ésimo indivíduo;

$\hat{\sigma}_j$: desvio padrão da j-ésima variável.

4.5.1 Determinação dos componentes principais (CP's)

A análise de componentes principais foi realizada com a função `princomp()` do software R versão 2.15.2 (R CORE TEAM, 2011), sendo utilizada a matriz de correlação residual obtida através da análise de variância conjunta dos experimentos pelo programa GENES (CRUZ, 2006).

O somatório dos autovalores (λ_j) é tal que:

$$\sum_{j=1}^p \lambda_j = tr(R) = p$$

Em que:

p corresponde ao número de variáveis analisadas na matriz de correlação residual, e $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p$ são as raízes da equação característica a partir dessa matriz.

Para cada autovalor λ_i existe um autovetor $\tilde{a}_i$:

$$\tilde{a}_i = \begin{bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{ip} \end{bmatrix}$$

Foram obtidos os autovetores $\tilde{a}_i$ normalizados como norma unitária, isto é, a soma dos quadrados dos coeficientes igual a 1, sendo ainda ortogonais entre si. Sendo $\tilde{a}_i$ o autovetor correspondente ao autovalor λ_i , então o i-ésimo componente principal é dado por:

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p$$

De acordo com Ferreira (2008), os componentes principais apresentam as seguintes propriedades:

- 1) A variância do componente principal Y_i é igual ao autovalor λ_i .

$$Var(Y_i) = \lambda_i$$

- 2) O primeiro componente é o que apresenta maior variância, seguido do segundo e assim por diante:

$$Var(Y_1) > Var(Y_2) > \dots > Var(Y_p)$$

- 3) A variância total das variáveis originais é igual ao somatório dos autovalores que corresponde a variância total dos componentes principais:

$$\sum Var(X_i) = \sum \lambda_i = \sum Var(Y_i)$$

- 4) Os componentes principais não são correlacionados entre si:

$$Cov(Y_i, Y_j) = 0 \quad \forall i \neq j$$

4.5.2 Contribuição de cada componente principal

A contribuição C_i de cada componente principal Y_i é expressa em percentagem, sendo estimada pela divisão da variância de Y_i pela variância total. O resultado representa a proporção da variância total explicada pelo componente principal Y_i .

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \times 100$$

A importância do componente principal é avaliada por meio de sua contribuição, isto é, pela proporção da variância total explicada pelo componente principal. A soma dos primeiros autovalores (k) representa a proporção de informação retida na redução de p para k dimensões. Com essa informação pode-se decidir quantos componentes serão usados na análise, isto é, quantos componentes serão utilizados para diferenciar os tratamentos. Não existe um modelo estatístico que ajude nesta decisão. Segundo Regazzi (2000), para aplicações em diversas áreas

do conhecimento, o número de componentes principais tem sido aquele que acumula em torno de 70% da variância total.

4.5.3 Interpretação e escores dos componentes principais

Cada componente principal é influenciado diferentemente pelas variáveis que o compõem. Neste sentido, a análise foi realizada verificando-se o grau de influência que cada variável X_j tem sobre o componente Y_i . O grau de influência em percentagem entre cada X_j e o componente Y_i que está sendo analisado é dado pelo autovetor $\tilde{a}_i^2$.

Os escores são os valores dos componentes principais calculados para cada tratamento. Após a redução de p para k dimensões, os k componentes principais serão as novas variáveis e toda a análise foi realizada utilizando-se os escores desses componentes. Na Tabela 3 é exemplificado a organização de um conjunto de dados composto por n tratamentos ($n = 1, 2, \dots, 12$) e p variáveis ($p = 1, 2, \dots, 8$) no componente principal 1 (Y_1). Dessa forma, os tratamentos que obtiverem os maiores escores, apresentarão desempenho superior para as características que mais influenciaram na formação do componente.

Tabela 3 - Escore do primeiro componente principal (Y_1) para n tratamentos.

Tratamentos	Y_1	Obtenção do (Y_1)
1	Y_{11}	$Y_{11} = a_1X_{1(1)} + a_2X_{1(2)} + \dots + a_8X_{1(8)}$
2	Y_{21}	$Y_{21} = a_1X_{2(1)} + a_2X_{2(2)} + \dots + a_8X_{2(8)}$
...	...	
N	Y_{n1}	$Y_{n1} = a_1X_{n(1)} + a_2X_{n(2)} + \dots + a_pX_{n(p)}$

Onde:

Y_{n1} : é o escore do tratamento n correspondente ao componente principal 1 (Y_1);

$a_pX_{n(p)}$: é o autovetor a_p correspondente a média padronizada da respectiva variável (p) obtida no tratamento n .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CORRELAÇÃO DE PEARSON

5.1.1 Experimentos com híbridos

Os resultados da análise de correlação entre as oito variáveis fenotípicas avaliadas nos quatro experimentos de híbridos são apresentados na Tabela 4. Evidenciou-se efeito significativo apenas para as correlações fenotípicas: RL x IEP ($p < 0,05$), SL x RG ($p < 0,05$) e EST x IEP ($p < 0,01$) (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as oito características avaliadas em 12 híbridos de milho avaliados em quatro experimentos nos municípios de Castro-PR (2), Tibagi-PR e Itararé-SP. Ponta Grossa, 2015.

Variáveis	RL	SL	DC	EST	IEP	RP	RG
GS	0,046	- 0,476	- 0,196	- 0,471	- 0,203	0,294	- 0,193
RL		0,205	0,063	0,569	0,632*	0,543	0,038
SL			0,010	0,414	0,499	- 0,235	- 0,658*
DC				0,535	0,576	0,182	0,519
EST					0,792**	0,413	0,290
IEP						0,439	- 0,039
RP							0,215

*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente, (GS) quebraimento verde de colmo, (RL) acamamento, (SL) quebraimento de colmo, (DC) diâmetro de colmo, (EST) estatura de planta, (IEP) altura de inserção da espiga principal, (RP) resistência do colmo à penetração e (RG) rendimento de grãos.

A análise de correlação das variáveis fenotípicas a partir dos quatro experimentos de avaliação dos 12 híbridos demonstrou a existência de correlação negativa e significativa de 0,658 entre o quebraimento de colmo (SL) e o rendimento de grãos (RG) (Tabela 4 e Figura 1). Estes resultados evidenciam a grande influência da qualidade de colmo na produtividade da cultura do milho, corroborando com os resultados relatados por Zuber e Kang (1978), que demonstraram perdas de 5 a 25% na produção mundial de milho em consequência da baixa qualidade dos colmos em híbridos comerciais. Adicionalmente, alguns autores têm proposto a avaliação do estágio que ocorreu o quebraimento, pois quanto mais precoce ocorrer o quebraimento no ciclo da cultura, menor será o potencial de rendimento e a qualidade dos grãos, além de prejudicar consideravelmente o processo de colheita mecanizada (ZANATTA; OERLECKE, 1991).

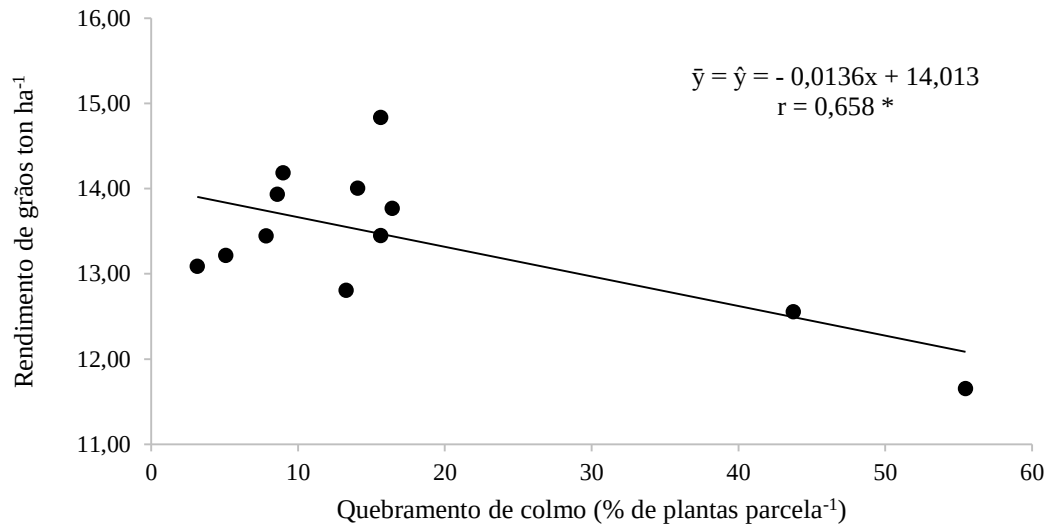


Figura 1 – Quebramento de colmo (% de plantas parcela⁻¹) correlacionado com o rendimento de grãos de milho (ton ha⁻¹) em experimentos de híbridos de milho. * P < 0,05.

Os resultados evidenciaram correlação positiva e significativa de 0,632 entre o acamamento de plantas e a altura de inserção de espiga principal para o conjunto de experimentos com os 12 híbridos (Tabela 4 e Figura 2). Dessa maneira, quanto maior a altura da espiga principal maior a frequência de plantas acamadas. Resultados semelhantes aos encontrados por Argenta; Silva e Sangoi (2001). Esse maior índice de acamamento conforme a altura de planta se deve principalmente à força que a espiga exerce sobre o colmo e a raiz, que é explicado pela física como o momento de uma força em relação a um ponto, ou seja, quanto maior a distância entre a espiga e o solo, menor a força necessária para que a raiz se movimente e a planta acame. Dessa maneira, o vento como principal agente que promove acamamento e quebramento, necessita menor velocidade em caso de espigas mais altas (EASSON; WHITE; PICKLES, 1993).

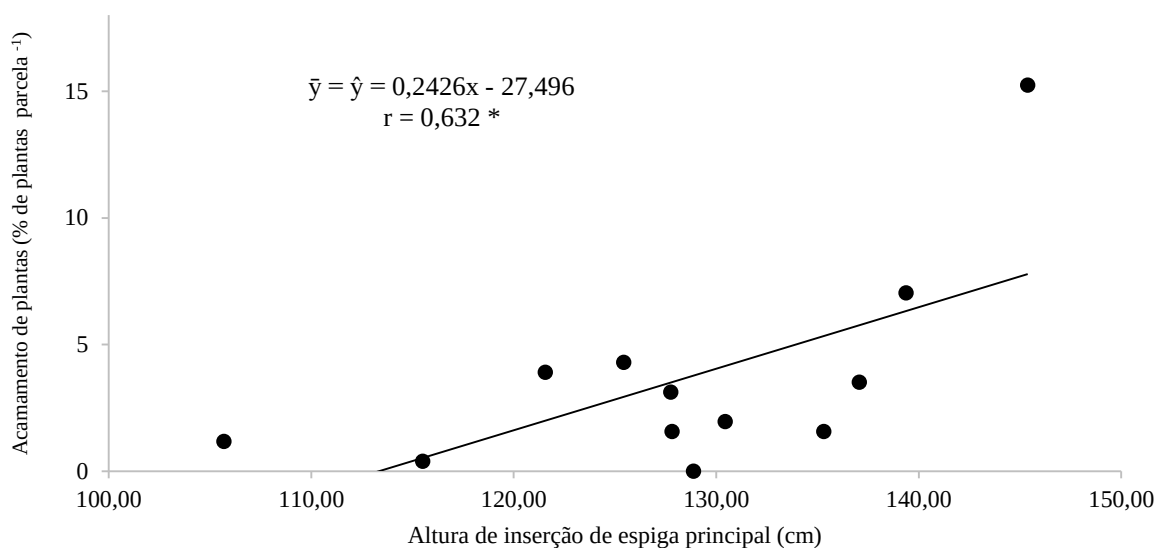


Figura 2 – Altura de inserção de espiga principal (cm) correlacionada com o acamamento de plantas (% de plantas parcela⁻¹) em experimentos de híbridos de milho. * $P < 0,05$.

Considerando as demais características fenotípicas relacionadas à qualidade de colmo e rendimento de grãos, não houve correlação significativa entre elas (Tabela 4). O que não concorda com estudos prévios, principalmente quando avaliado a resistência do colmo à penetração, que em vários trabalhos tem demonstrado alta correlação com o quebramento de colmo, sendo um ótimo indicador da qualidade dos colmos em híbridos de milho (KANG et al., 1999; JAMPATONG et al., 2000; FLINT-GARCIA; MCMULLEN; DARRAH, 2003; PEIFFER et al., 2013). No presente trabalho, a ausência de correlação pode ser em função da baixa frequência de quebramento de colmos em alguns locais durante a realização dos experimentos, além da presença de vários híbridos com boa qualidade de colmo. Para entender melhor esta relação entre o quebramento de colmo e sua resistência à penetração, serão realizados novos experimentos, porém com maior número de híbridos com baixa resistência ao quebramento, para que seja possível calibrar o método e validá-lo como indicador da resistência do colmo de híbridos de milho ao quebramento.

5.1.2 Experimento com linhagens

Os resultados da análise de correlação entre as seis variáveis fenotípicas avaliadas no experimento de linhagens conduzido no município de Castro são apresentados na Tabela 5. A análise revelou efeito significativo apenas para as correlações fenotípicas: SL x RP ($p < 0,05$) e EST x IEP ($p < 0,01$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Pearson entre seis características avaliadas em 16 linhagens de milho no município de Castro-PR. Ponta Grossa, 2015.

Variáveis	SL	DC	EST	IEP	RP
RL	0,196	0,161	- 0,229	- 0,201	- 0,332
SL		0,053	0,192	0,356	- 0,600*
DC			0,055	0,094	0,272
EST				0,855**	0,459
IEP					0,200
RP					

*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente, (RL) acamamento, (SL) quebramento de colmo, (DC) diâmetro de colmo, (EST) estatura de planta, (IEP) altura de inserção da espiga principal e (RP) resistência do colmo à penetração.

Os resultados demonstraram correlação negativa e significativa de - 0,600 entre o quebramento de colmo e a resistência do colmo à penetração no experimento de linhagens endogâmicas (Tabela 5 e Figura 3). Somente no experimento de linhagens foi possível detectar através da análise de correlação que a resistência do colmo à penetração é um bom indicador da qualidade de colmo em linhagens de milho. As diferenças nos resultados da análise de correlação entre híbridos e linhagens, possivelmente se deva a maior sensibilidade das linhagens pelo alto grau de endogamia, além do fato do experimento ter sido instalado em local de elevada altitude (+ de 1000 m), ventos fortes e constantes, que predispõem ao quebramento dos colmos (EASSON; WHITE; PICKLES, 1993).

Sibale; Darrah e Zuber (1992), conseguiram 2,9% de ganho genético para resistência de colmo ao quebramento em apenas um ciclo de seleção através da utilização do penetrômetro como indicador da qualidade de colmo, quando comparado à sua ausência na seleção. Outros autores também demonstraram a resistência do colmo à penetração como um bom indicador da qualidade de colmo em milho. Kang et al. (1999) concluíram que a utilização do penetrômetro é uma maneira relativamente fácil de se melhorar a qualidade de colmo em ciclos de seleção recorrente, além disso, ressaltam que é necessário a realização de experimentos em mais de um local para a validação do método. Também avaliando a qualidade de colmo em milho, Cloninger; Zuber e Horrocks (1970), demonstraram que até 80% da resistência do colmo têm sido atribuída à parede (estrutura e composição), dessa maneira, fica claro que a utilização do penetrômetro pode ser uma alternativa simples e passível de utilização em larga escala para avaliação da qualidade de colmo em linhagens, pois pode-se medir a força necessária para perfurar a epiderme que é a principal responsável pela resistência do colmo ao quebramento.

Chang et al. (1976), também demonstraram que a resistência do colmo está ligada principalmente ao tecido da epiderme, tanto a espessura quanto a sua composição,

demonstrando que quanto maior o grau de lignificação, maior a resistência dos colmos. Resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos, que associam fortemente a resistência do colmo à penetração com a qualidade do colmo (JAMPATONG et al., 2000; FLINT-GARCIA; MCMULLEN; DARRAH, 2003; PEIFFER et al., 2013).

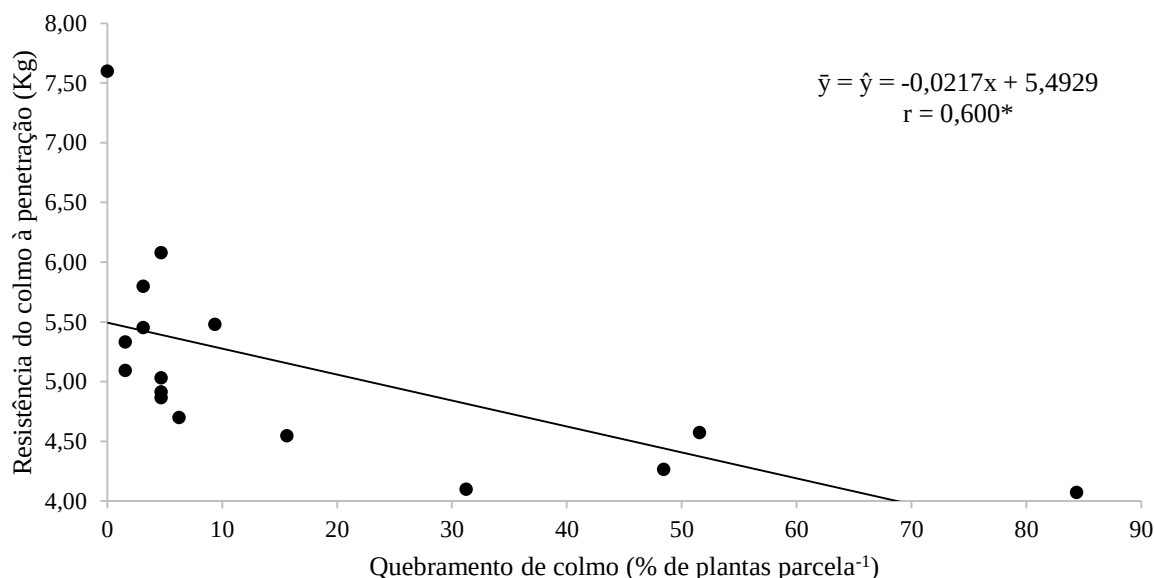


Figura 3 – Quebramento de colmo (% de plantas parcela⁻¹) correlacionado com a resistência do colmo à penetração (Kg). * $P < 0,05$.

5.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A partir das características avaliadas à campo nos experimentos de híbridos e linhagens, a análise de componentes principais teve por finalidade reduzir a dimensão das variáveis fenotípicas ao menor número possível de componentes principais que pudesse explicar em torno de 70% da variação fenotípica total, como proposto por Regazzi (2000). Além disso, identificar os híbridos e linhagens com o maior número de características favoráveis para a qualidade de colmo e ao rendimento de grãos.

5.2.1 Experimentos com híbridos

Os resultados da análise de componentes principais das oito características fenotípicas mensuradas em 12 híbridos de milho a partir de quatro experimentos de campo, foi possível a redução da dimensão das variáveis iniciais em dois componentes principais (CP's), os quais explicaram 64,25% da variância fenotípica total das variáveis estudadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Estimativas dos autovalores λ_j associados aos componentes principais, importância relativa (λ_j %) e a variância fenotípica total acumulada (%) nos experimentos de híbridos de milho. Ponta Grossa, 2015.

Componentes	λ_j	λ_j (%)	% Variância acumulada
CP1	3,206	40,08	40,08
CP2	1,934	24,17	64,25
CP3	1,563	19,54	83,79
CP4	0,694	8,67	92,47

A percentagem da variância fenotípica acumulada nos dois primeiros componentes principais é considerada adequada, assim como proposto por Regazzi (2000), que para aplicações em diversas áreas do conhecimento, o número de componentes principais tem sido aquele que acumula em torno de 70% da variância total. O número de híbridos avaliados também é considerado suficiente para este tipo de análise estatística, assim como demonstrado em outros trabalhos que trabalharam com número de híbridos semelhantes e conseguiram explicar grande parte da variação fenotípica através de dois ou no máximo três componentes principais (BARBOSA et al., 2005; STRAPASSON; VENCOSKY; BATISTA, 2000). De acordo com o percentual da variância explicada para cada componente, pode-se verificar que o 1º e o 2º componente apresentaram variâncias acumuladas de 40,08 e 24,17%, respectivamente (Tabela 6). A partir dos coeficientes dos autovetores é possível identificar quais variáveis foram mais importantes para a formação de cada componente principal. Os sinais dos autovetores (+ ou -) representam o desempenho de cada característica em relação ao componente principal em questão, dessa maneira, os genótipos com maiores escores positivos (+) obterão desempenho superior para as características com autovetores positivos e menor expressividade para as variáveis com autovetores negativos.

Os resultados dos autovetores no CP1 evidenciaram que as características estatura de planta - EST (0,525), altura de inserção da espiga principal - IEP (0,514) e acamamento - RL (0,382), foram as que mais influenciaram na formação do CP1 (Tabela 7). Neste contexto, os híbridos de milho que obtiverem maiores escores no CP1 evidenciarão o maior potencial para acamamento, a maior estatura de planta e altura de inserção da espiga principal.

No CP2 os maiores coeficientes dos autovetores foram obtidos para as características quebraamento de colmo - SL (0,631), rendimento de grãos - RG (- 0,516) e resistência do colmo à penetração - RP (- 0,402) (Tabela 7). Este componente principal está intimamente ligado às características fenotípicas relacionadas ao potencial produtivo e a qualidade física dos colmos. Os genótipos que apresentam maiores escores CP2, serão os híbridos com maiores problemas

de quebramento de colmo, menor resistência de colmo à penetração e menor rendimento de grãos.

Tabela 7 - Autovetores dos dois primeiros componentes principais e importância relativa de cada variável fenotípica para a formação do componente principal nos experimentos de híbridos de milho. Ponta Grossa, 2015.

Variáveis	CP1		CP2	
	Autovetor	%	Autovetor	%
GS	- 0,206	7,85	- 0,337	12,84
RL	0,382	14,55	- 0,062	02,36
SL	0,232	8,84	0,631	24,04
DC	0,347	13,22	- 0,214	08,15
EST	0,525	20,00	0,032	01,22
IEP	0,514	19,58	0,096	03,66
RP	0,284	10,82	- 0,402	15,31
RG	0,135	5,14	- 0,516	19,66

(%) importância relativa da variável para a formação do componente principal, (GS) quebramento verde de colmo, (RL) acamamento, (SL) quebramento de colmo, (DC) diâmetro de colmo, (EST) estatura de planta, (IEP) altura de inserção da espiga principal, (RP) resistência do colmo à penetração e (RG) rendimento de grãos.

Para a seleção simultânea de caracteres fenotípicos, diversos índices têm sido propostos ao longo do tempo, sendo a eficiência variável de acordo com os objetivos do programa de melhoramento (ARNHOLD; SILVA, 2009; VILARINHO et al., 2012). Através dos resultados obtidos pela análise de componentes principais é possível a seleção de genótipos com base nos escores obtidos nos componentes com maior aptidão para um conjunto de variáveis fenotípicas de interesse (CERON ROJAS; SAHAGUN CASTELLANOS, 2005).

Para a seleção dos melhores híbridos de milho em relação à qualidade do colmo e ao rendimento de grãos, utilizou-se os resultados da análise de componentes principais. Verificou-se que o CP1 atribuiu maiores pesos as características estatura de planta (EST= 20,0%), altura de espiga principal (IEP=19,58%) e acamamento (RL=14,55%) (Tabela 7). No caso do CP2, atribuiu-se os maiores pesos as características quebramento de colmo (SL=24,0%), rendimento de grãos (RG=19,66%) e resistência do colmo à penetração (RP=15,31%) (Tabela 7).

Neste estudo, foram utilizados os escores do CP1 e CP2 para a seleção de híbridos que possam reunir simultaneamente a menor estatura, a menor altura de inserção de espiga principal, o menor percentual de acamamento de planta, o menor quebramento de colmo, o maior rendimento de grãos e a maior resistência do colmo à penetração (Figura 4). A análise gráfica evidenciou que as testemunhas comerciais, os híbridos P30F53YH, 30A37PW e DKB240PRO2 demonstraram acúmulo de características favoráveis para qualidade de colmo, bem como para a produtividade de grãos, refletindo o que vem sendo demonstrado no mercado

brasileiro de sementes. Por exemplo, o híbrido P30F53YH (Pioneer) é o mais vendido na história do país e o 30A37PW da Dow AgroSciences atualmente é o mais vendido para cultivo de safrinha no Brasil, com mais de 600 mil sacas anuais. Adicionalmente, o híbrido DKB240PRO2 (Dekalb), genótipo superprecoce e considerado um dos mais estáveis e produtivos da região Sul do país, integrando a categoria de híbridos de milho do tipo superprecoce (Figura 4). Percebe-se ao observar o grupo 2, que além dos híbridos comerciais citados acima, o híbrido H8 ainda em fase de experimentação pré-comercial, evidencia desempenho agrônômico tão bom ou até melhor quando comparado aos híbridos disponíveis no mercado de sementes (Figura 4).

No grupo 1 estão alocados os híbridos H9 e H10, com as maiores percentagens de quebraamento de colmo e menor produtividade de grãos. Para os grupos 3 e 4, agruparam-se os híbridos que não tiveram problemas graves de quebraamento de colmo ou acamamento mas também não acumularam muitas características favoráveis para serem selecionados. Exemplo disso são os híbridos comerciais presentes nestes grupos (2A550PW, 2B433PW, 2B710PW e 2B587PW), que encontram-se em declínio no mercado de sementes, por serem genótipos mais antigos e não apresentarem produtividades elevadas ou características favoráveis para competir com os novos híbridos pré-comerciais.

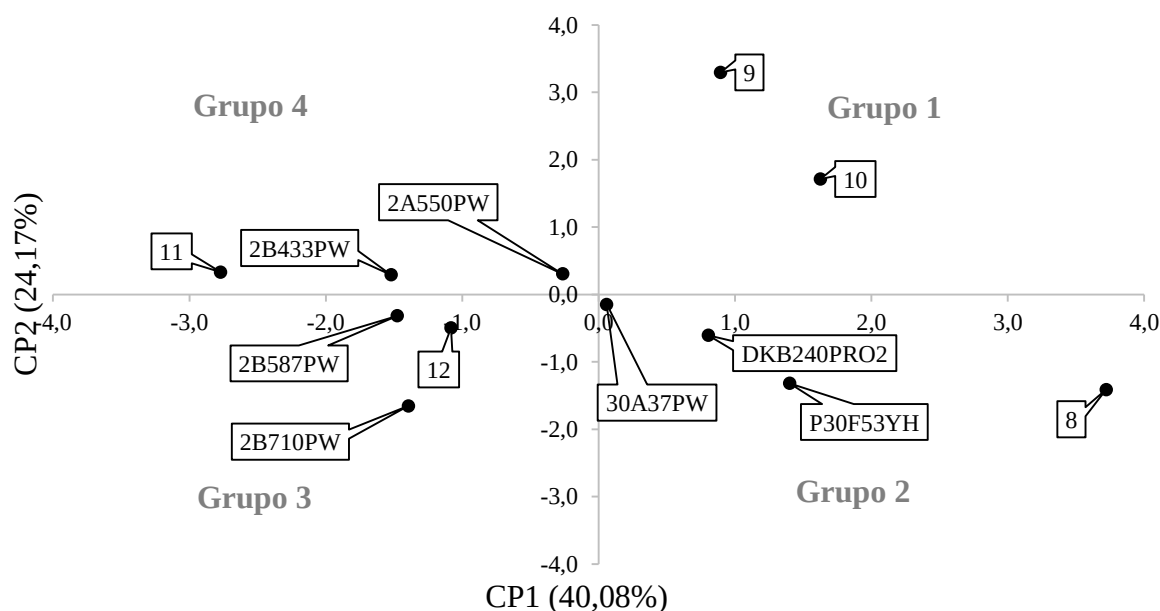


Figura 4 - Escores dos híbridos de milho para os dois primeiros componentes principais a partir da avaliação de quatro experimentos de campo. Ponta Grossa, 2015.

Os resultados obtidos através da análise de componentes principais permitiram a identificação dos híbridos com maior potencial de rendimento de grãos e melhor qualidade de colmo, isso evidencia que este tipo de análise estatística é muito valiosa para os programas de

melhoramento, pois mesmo com um número elevado de características fenotípicas avaliadas, foi possível identificar os híbridos potencialmente superiores, ou seja, aqueles que apresentam o maior número de características de interesse dentre os híbridos avaliados. DoVale; Fritsche-Neto e Silva (2011), visando selecionar híbridos graníferos comerciais para diferentes nichos de mercado, submeteram os dados de 15 variáveis fenotípicas à análise de componentes principais. Através dos autovetores obtidos, selecionaram os híbridos triplos DKB350, AG6690 e o duplo DKB747 como os mais promissores para a produção de minimilho e de milho verde.

5.2.1 Experimento com linhagens

Das seis características fenotípicas mensuradas em 16 linhagens de milho a partir do experimento de campo no município de Castro-PR, foi possível a redução da dimensão das variáveis iniciais em dois componentes principais (CP's), os quais explicaram 66,13% da variância fenotípica total das variáveis estudadas (Tabela 8).

Tabela 8 - Estimativas dos autovalores λ_j associados aos componentes principais, importância relativa (λ_j %) e a variância fenotípica total acumulada (%) no experimento de linhagens de milho. Ponta Grossa, 2015.

Componentes	λ_j	λ_j (%)	% Variância acumulada
CP1	2,22	37,03	37,03
CP2	1,75	29,11	66,13
CP3	1,07	17,91	84,05
CP4	0,66	11,08	95,13

A percentagem da variância fenotípica acumulada nos dois primeiros componentes principais é considerada adequada, assim como no encontrado para os experimentos de híbridos. De acordo com o percentual da variância explicada para cada componente pode-se verificar que o CP1 e o CP2 apresentaram autovalores estimados de 37,03 e 29,11%, respectivamente (Tabela 8). A partir dos coeficientes dos autovetores foi possível identificar quais variáveis foram mais importantes para a formação de cada componente principal, assim como demonstrado para os híbridos de milho. Os resultados dos autovetores no CP1 evidenciaram que as características estatura de planta - EST (0,628), altura de inserção da espiga principal - IEP (0,578) e resistência do colmo à penetração - RP (0,407), foram as que mais influenciaram na formação do CP1 (Tabela 9). Desta forma, as linhagens endogâmicas com os maiores escores positivos no CP1 evidenciarão o maior potencial de acamamento, a maior estatura e altura da espiga principal (Tabela 9).

No CP2 os maiores coeficientes dos autovetores foram obtidos para as características quebraamento de colmo - SL (0,697) e resistência do colmo à penetração - RP (- 0,515) relacionadas com aspectos de qualidade de colmo (Tabela 9). Isso demonstra que o CP2 encontra-se intimamente associado às características relacionadas a qualidade dos colmos, como o acamamento de plantas e a resistência do colmo à penetração. Os genótipos que apresentaram escores positivos em CP2 foram as linhagens endogâmicas com maior potencial para quebraamento de colmo e menor resistência do colmo à penetração.

Tabela 9 - Autovetores dos dois primeiros componentes principais e importância relativa de cada variável fenotípica para a formação do componente principal no experimento de linhagens de milho. Ponta Grossa, 2015.

Variáveis	CP1		CP2	
	Autovetor	%	Autovetor	%
RL	- 0,305	14,87	0,319	14,77
SL	0,223	1,10	0,697	32,28
DC	0,112	5,44	0,168	7,78
EST	0,628	30,60	0,147	6,80
IEP	0,578	28,14	0,313	14,49
RP	0,407	19,85	- 0,515	23,88

(%) importância relativa da variável para a formação do componente principal, (RL) acamamento, (SL) quebraamento de colmo, (DC) diâmetro de colmo, (EST) estatura de planta, (IEP) altura de inserção de espiga principal e (RP) resistência do colmo à penetração.

Para a seleção das melhores linhagens endogâmicas de milho em relação à qualidade de colmo, utilizou-se os resultados da análise de componentes principais. Os resultados evidenciaram que o CP1 atribuiu maiores pesos as características estatura de planta (EST=30,6%), altura de inserção de espiga principal (IEP=28,14%) e resistência do colmo à penetração (RP=19,9%) (Tabela 8). Para o CP2, atribuiu-se maiores pesos as características quebraamento de colmo (SL=32,28%) e resistência do colmo à penetração (RP=23,88%) (Tabela 9).

No experimento de linhagens de milho, os escores do CP1 e CP2 foram plotados graficamente visando selecionar as linhagens endogâmicas com o maior número de características favoráveis para a qualidade física dos colmos (Figura 5).

No grupo 1 foram agrupadas as linhagens endogâmicas L5 e L10, com as maiores percentagens de quebraamento de colmo, menor resistência do colmo à penetração, maior estatura e altura de inserção da espiga principal, características não desejáveis na seleção de linhagens que serão utilizadas para a obtenção de híbridos comerciais superiores. No grupo 4, as linhagens L1, L9 e L15 demonstraram elevada percentagem de quebraamento de colmo,

menor resistência do colmo à penetração, porém menor estatura de planta e altura de inserção da espiga principal (Figura 5). No grupo 3 estão alocados as linhagens com algumas características favoráveis como o menor percentual de plantas quebradas e a maior resistência do colmo à penetração, embora esteja neste grupo uma variável fenotípica bastante limitante para a seleção de linhagens elites, como o elevado índice de acamamento (L4, L7, L8, L11, L12 e L16) (Figura 5).

No grupo 2 encontram-se as linhagens endogâmicas com o maior número de características voltadas à qualidade física do colmo, ou seja com maior resistência à penetração de colmo, menor quebramento e menor índice de acamamento (L2, L3, L6, L13 e L14) (Figura 5).

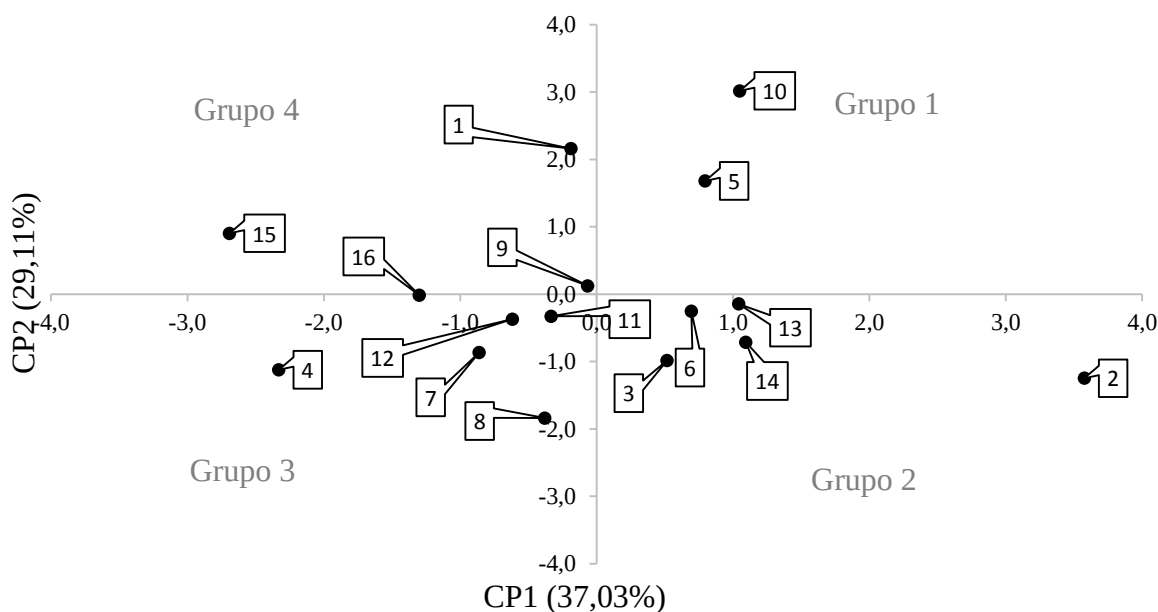


Figura 5 - Escores das linhagens de milho para os dois primeiros componentes principais. Ponta Grossa, 2015.

O rendimento de grãos ainda é a característica de maior interesse para os programas de melhoramento, mas algumas variáveis fenotípicas como a qualidade dos colmos ainda são altamente limitantes para a seleção de genótipos superiores, principalmente linhagens elites que servirão para a formação de novos híbridos e populações. Neste contexto, os resultados apresentados no presente trabalho possibilita indicar que existem outros métodos avaliativos para auxiliar a seleção de linhagens superiores visando a qualidade física dos colmos, do que simplesmente avaliar o número de plantas quebradas na parcela experimental. A utilização da resistência do colmo à penetração demonstrou ter alto potencial para o auxílio durante a seleção de linhagens com boa resistência do colmo ao quebramento, pois independentemente do ano ou do local de avaliação é uma metodologia que apresenta pequena variabilidade e correlação

significativa com o quebramento de colmos das linhagens endogâmicas à campo. Além disso, é passível de ser utilizada em larga escala e com baixo custo operacional. Para tanto, ainda serão necessários mais estudos científicos para a validação da metodologia bem como buscar a melhor época para realizar a avaliação fenotípica.

Os resultados obtidos através da análise de componentes principais, possibilitaram a identificação de genótipos com maior potencial de rendimento de grãos e melhor qualidade física dos colmos. Assim, evidencia-se o poder da análise de componentes principais para os programas de melhoramento vegetal, pois mesmo com um número elevado de características fenotípicas avaliadas em cada ciclo de seleção, é possível identificar os genótipos superiores, ou seja aqueles que acumulam o maior número de características de interesse. Essa análise poderá revolucionar a maneira de selecionar os genótipos nos programas de melhoramento genético, que hoje normalmente utilizam apenas os resultados de análises individuais da caracterização fenotípica.

Além disso, o próximo passo após encontrar maneiras de selecionar genótipos com melhor qualidade dos colmos, será importante entender claramente a genética envolvida no quebramento dos colmos e sua relação com a resistência à penetração. Dessa maneira, será possível aumentar os ganhos genéticos com a seleção para o menor índice de acamamento e quebramento de colmo que atualmente são limitantes para o lançamento de novos híbridos de milho com alto teto produtivo.

6 CONCLUSÕES

A qualidade física do colmo representada principalmente pelas características quebramento de colmo, acamamento e resistência do colmo à penetração demonstraram ser limitantes para a seleção de genótipos superiores de milho, pois o quebramento de colmos afetou negativamente o rendimento de grãos dos híbridos de milho nestes experimentos.

A avaliação da variável resistência à penetração de colmo nas linhagens endogâmicas teve correlação significativa e negativa de 60% com o quebramento de colmo, o que a torna passível de utilização para a seleção de linhagens com maior qualidade física dos colmos, possibilitando a detecção de diferenças nos níveis de resistência ao quebramento dos colmos entre os genótipos.

Através da análise de componentes principais foi possível a identificação das linhagens endogâmicas L2, L3, L6, L13 e L14 com melhor qualidade física dos colmos e os híbridos de milho P30F53YH, 30A37PW, DKB240PRO2 e H14 com maior número de características favoráveis para qualidade física dos colmos.

REFERÊNCIAS

- ADELANA, B.O.; MILBOURN, G.M. The growth of maize. Dry matter partition of three maize hybrids. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.78, n.1, p.73-78, Fev. 1972.
- ALLISON, C.S.; WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter maize after flowering. **Annals of Botany**. London, v.30, p.3655-3681, 1966.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.1075-1084, 2001.
- ARNHOLD, E.; SILVA, R.G. Eficiências relativas de índices de seleção considerando espécies vegetais e pesos econômicos iguais entre caracteres. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, p.76-82, Mai. 2009.
- BARBOSA, L.; LOPES, P.S.; REGAZZI, A.J.; GUIMARÃES, E.F.G. Avaliação de características de carcaça de suínos utilizando-se a análise dos componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p.2209-2217, Nov. 2005.
- BERTINI, C.H.M.; ALMEIDA, W.S.; SILVA, A.P.M.; SILVA, J.W.L. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão caupi. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.04, p.613-619, Out. 2010.
- CERON-ROJAS, J. J.; SAHAGUN-CASTELLANOS, J. A selection index based on principal components. **Agrociência**, v.39, n.6, p.667-677, Nov. 2005.
- CHANG, H.S.; LOESCH, P.J.; ZUBER JR, M.S. Effects of recurrent selection for crushing strength on morphological and anatomical stalk traits in corn. **Crop Science**, Madison, v.16, p.621-625, 1976.
- CLONINGER, F.D.; ZUNBER, M.S.; CALVERT, O.H.; LOESH, P.J. Journal series number 5720. **Crops Research Division**, v.8, p. 145-14, 1969.
- CLONINGER, F.D.; ZUBER, M.S.; HORROCKS, R.D. Methods of evaluating stalk quality in corn. **Phytopathology**, Saint Paul, v.60, p.295-300, 1970.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, terceiro levantamento**. Publicação mensal, 109 p. junho, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf>. Acesso em 15 out. 2015.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.
- CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990, 188f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

CRUZ, P.J.; CARVALHO, F.I.F. de; SILVA, S.A.; KUREK, A.J.; BARBIERI, R.L.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.9, p.5-8, 2003.

DAHER, R.F. et al. Seleção de caracteres morfológicos discriminantes em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, n.2, p. 247-254, Mar. 1997.

DAVIS, L.L.; STANTTON, T.R. Studies on the breaking strenght of straw of oat varieties at Aberdeen, Idaho. **Journal of America Society of Agronomy**, v.24, p.290-300, 1942.

DOVALE, J.C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; SILVA, P.S.L.E. Índice de seleção para cultivares de milho com dupla aptidão: minimilho e milho verde. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.4, p. 781-787, Out./Dez. 2011.

DUNCAN, W.G.; HATFIELD, AL.; RAGLAND, L. The growth and yield of corn II. Daily growth of com Kernels. **Agronomy Journal**, Madison, v.57, n.2, p.221-223, Mar./Apr. 1965.

DURRELL, L.W. A preliminary study of fungous action as the cause of down corn. **Phytopathology**, v.15, p.146-154, 1925.

DUVICK, D.N. Continous backcrossing to transfer prolificacy to a single-eared inbred line of maize. **Crop Science**, Madison, v.14, n. 1, p.69-71, Jan. 1974.

EASSON, D.L.; WHITE, E.M.; PICKLES, S.J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v.121, p.145-156, 1993.

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

FEDERIZZI, L.C.; FANTINI, A.C.; CARVALHO, F.I.F. Efeito do acamamento artificial em alguns genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, v.24, p.465-469, 1994.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. 1 ed. Lavras: UFLA, 2008. 662 p.

FERREIRA, J.M.; MOREIRA, R.M.P.; HIDALGO, J.A.F. Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. **Ciência Rural**, v.39, p.332-339, 2009.

FOLEY, D.C. The response of corn to inoculation with *Diplodia zeae* and *Gibberella zeae*. **Phytopathology**, v.50, p.146-150, 1960.

FOLEY, D.C. Stalk deterioration of plants susceptible to corn stalk rot. **Phytopathology**, v.52, p.10 (Abstr.), 1962.

FONTOURA, D. STANGARLIN, J.R.; TRAUTMANN, R.R.; SCHIRMER, R.; SCHWANTES, D.O.; ANDREOTTI, M. Influência da população de plantas na incidência de doenças de colmo em híbridos de milho na safrinha. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.545-551, 2006.

FLINT-GARCIA, S.A.; MCMULLEN, M.D.; DARRAH, L.L. Genetic relationship of stalk strength and ear height in maize. **Crop Science**, v.43, p.23-31, 2003.

FRANCIS, C.A.; TEMPLE, S.R.; FLOR, C.A.; GROGAN, C.L. Effects of competition on yield and dry matter distribution in maize. **Field Crop Research**, v.1, p.51-63, 1978.

GIBSON, B.K.; PARKER, C.D.; MUSSER, F.. Corn stalk penetration resistance as a predictor of Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae) survival. **Midsouth Entomologist**, v.3, p.7-17, 2010.

GOMES, L.S.; BRANDÃO, A.M.; BRITO, C.H.; MORAES, D.F.; LOPES, M.T.G. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebraimento do colmo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.45, n.2, p.140-145, Fev. 2010.

INSTITUTO FNP. AGRIANUAL 2007: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2007. 520p.

JAMPATONG, S.; DARRAH, L. L.; KRAUSE, G. F.; BARRY, B. D. Effect of one- and two-eared selection on stalk strength and other characters in maize. **Crop Science**, v.40, p.605-611, 2000.

JONES, R.J.; SIMMONS, S.R. Effects of altered source sink relation on growth of maize kernels. **Crop Science**, Madison, v. 23, n.1, p.129-134. Jan. 1983.

KANG, M.S.; DIN, A.K.; ZHANG, Y.D.; MAGARI, R. Combining ability for rind puncture resistance in maize. **Crop Science**, v.39, p.368-371, 1999.

KHODADADI, M.; FOTOKIAN, M.H.; MIRANSARI, M. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. **Australian Journal of Crop Sciences**, v.5, p.17-24, 2011.

KIST, V; OGLIARI, J.B; MIRANDA FILHO, J.B.I; ALVES, A.C. Genetic potential of a maize population from Southern Brazil for the modified convergent–divergent selection scheme. **Euphytica**, Wageningen, v.176, n.1, p.25-36, Nov. 2010.

LEDO, C.A.S.; FERREIRA, D.F.; RAMALHO, M.A.P. Análise de variância multivariada para os cruzamentos dialélicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.6, p.1214-1221, Nov. 2003.

LOESCH, P.J.; CALVERT, O.H.; ZUNBER, M.S. Interrelations of *Diplodia* stalk rot and two morphological traits associated with lodging of corn. **Crop Science**, v.2, p.469-472, 1962.

LUCAS, E.O. Remobilization of stem assimilates in maize varieties grown under tropical conditions. **Maydica**, Bergamo, v.26, n.4, p.287-292, 1981.

MAGALHÃES R.C.; MAGNAVACA, R; OLIVEIRA, A.C. Quebraimento do colmo em milho. Sete Lagoas: EMBRAPA ICNP MS. **XX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. p 192, 1991. MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVELRA, A.C. Efeitos do quebraimento do colmo no rendimento de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.22, n.3, p.279-289, Jul./Set. 1998.

MANLY, B.F.J. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229p.

MARTIN, M.J.; RUSSEL, W.A. Response of a maize synthetic to recurrent selection for stalk quality. **Crop Science**, Madison, v.24, p.331-337, 1984.

MARTIN, S.A.; DARRAH, L.L.; HIBBARD, B.E. Divergent selection for rind penetrometer resistance and its effects on European corn borer damage and stalk traits in corn. **Crop Science**. v.44, p.711-717, 2004.

MCROSTIE, G.P.; MACLACHLAN, J.D. Hybrid corn studies. **Scientia Agricola**, v.22, p.307-313, 1942.

NATIONAL AGRICULTURAL STATISTICS SERVICE, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Corn Production, Consumption, and Stocks**. 2015. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/CropProd/CropProd-11-10-2015.pdf>>. Acesso em 11 de nov. 2015.

PEIFFER J.A., FLINT-GARCIA S.A., DE LEON N., MCMULLEN M.D., KAEPLER S.M., **The Genetic Architecture of Maize Stalk Strength**. v.8, 2013. Disponível em: <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info:doi/10.1371/journal.pone.0067066&representation=PDF>. Acesso em 10 de nov. 2015.

PINTHUS, M.J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, v.25, p.208-263, 1973.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

REGAZZI, A.J. **Análise multivariada, notas de aula INF 766**. Viçosa: Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v. 2, 2000.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C. Resposta de híbridos de milho cultivados em diferentes épocas à população de plantas e ao aumento da densidade de plantas. In. Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão, 3., 2001, Chapecó Resumos Florianópolis: **Epagri** p.48-52, 2001a.

SANGOI, L.; ALMEIDA, L.A. de; LECH, V.A.; GRACIETTI, L.C.; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, v.58, p.271-276, 2001b.

SIBALE, E.M.; DARRAH, L.L.; ZUBER, M.S. Comparison of two rind penetrometers for measurement of stalk strength in maize. **Maydica**, v.37, p.111-114, 1992.

STRAPASSON, E.; VENCOVSKY, R.; BATISTA, L.A.R. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum sp.* por meio de componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, n.2, p.373-381, Mar. 2000.

TRIOLA, M.F. Introdução à estatística. 7. **Editora Rio de Janeiro**: Livros técnicos e científicos. Editora S.A. 1999.

THOMPSON, D.L. Stalk strenght of corn as measured by crushing strength and rind thickness. **Crop Science**, v.3, p.323-329, 1963.

TOLLENAAR, M; DAYNARD, T.B. Effect of defoliation on kernel development in maize. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.58, p.207-212, 1978.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short season environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p.219-223, Mar./Apr. 1978b.

VILARINHO, A.A. **A importância do melhoramento genético na cultura do milho**. Página Rural, 2012. Disponível em:<<http://www.paginarural.com.br/artigo/705/a-importancia-do-melhoramento-genetico-na-cultura-do-milho>>. Acesso em 01 de novembro 2015.

ZANATTA, A.C.A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1001-1016, 1991.

ZUBER, M.S.; COLBERT, T.R.; DARRAH, L.L. Effect of recurrent selection for crushing strength on several stalk components in maize. **Crop Science**, Madison, v.20, p.711-717, 1980.

ZUBER, M.S.; GROGAN, C.O. A new techique for measuring stalk strenght in corn. **Crop Science**, v.1, p.37-380, 1961.

ZUBER, M.S.; KANG, M.S. Corn lodging slowed by sturdier stalks. **Crop and Soils Magazine**. v. 4, p.1-32, 1978.

ZUBER, M.S.; LOESCH, P.J.. A mechanical method of evaluating stalk lodging. Proc. of the Seventeenth Ann' Corn Industry Research Conf., **The American Seed Trade Association**, Washington, D.C. Publ. No. 17, pp. 15-23, 1962.