

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Interação Intergenotípica no Consorciamento Milho x Feijão**

**Gustavo Henrique de Sousa Araujo**

**2006**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**INTERAÇÃO INTERGENOTÍPICA NO**  
**CONSORCIAMENTO MILHO X FEIJÃO**

**GUSTAVO HENRIQUE DE SOUSA ARAUJO**

*Sob a orientação do Professor*  
**Dr. Maurício Ballesteiro Pereira**

*e Co-orientação do Professor*  
**Dra. Elizabeth Bernardo Ballesteiro Pereira**

Tese submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de *Magister*  
*Scientiae* em Fitotecnia

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2006

635.67  
A663i  
T

Araujo, Gustavo Henrique de Sousa, 1962-  
Interação intergenotípica no  
consorciamento milho x feijão / Gustavo  
Henrique de Sousa Araujo. - 2006.  
63 f.

Orientador: Maurício Ballesteiro  
Pereira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro,  
Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 41-51.

1. Milho - Cultivo - Teses. 2. Feijão  
- Cultivo - Teses. 3. Cultivo consorciado  
- Teses. 4. Fitotecnia - Teses. I.  
Pereira, Maurício Ballesteiro, 1954- II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Instituto de Agronomia. III.  
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**GUSTAVO HENRIQUE DE SOUSA ARAUJO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/02/2006

---

Maurício Ballesteiro Pereira. Dr. (DG/IB/UFRRJ)

---

Adelson Paulo de Araújo. Dr. (DS/IA/UFRRJ)

---

Josimar Ribeiro de Almeida. Dr. (Escola Politécnica/DRHIMA/UFRRJ)

## **DEDICO**

A todos aqueles que contribuíram para que esse trabalho acontecesse.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Prof. Mauricio Ballesteiro Pereira pela paciência e dedicação durante todos os momentos em que precisei, mesmo à distância;

Ao meu grande amigo, Dr. Arão de Araújo Gomes, por sua ajuda valorosa na colheita do experimento, medição dos dados e nos diversos “papos” sobre a vida;

À minha eterna namorada e atualmente esposa, Karla, pelas horas de sol “perdidas” no campo experimental e na colheita e medição do experimento e, principalmente, por todo o apoio, carinho, amor e gratidão durante as horas mais difíceis da minha vida que passei durante esse ano;

Ao meu grande irmão, amigo e professor Dr. Josimar Ribeiro de Almeida, a quem tenho uma dívida de gratidão eterna, pelos momentos de incentivo e por ter sempre acreditado em mim;

Ao meu amigo Dr. Adelson Araújo pela sua grande ajuda e apoio no desenvolvimento desse trabalho;

Aos meus pais, Alazir (*in memoriam*) e Vanda, por serem os responsáveis por tudo isso.

## RESUMO

ARAÚJO, Gustavo Henrique de Sousa. **Interação intergenotípica no consorciamento milho x feijão**. Seropédica: UFRRJ, 2006. 50 p. (Dissertação, Mestrado em Agronomia).

Este trabalho teve como objetivos estudar a interação genótipo x genótipo em um plantio consorciado de feijão e milho, estudar a aplicação de técnicas utilizadas na avaliação das interações genótipo x ambiente no estudo das interações genótipo x genótipo, verificar a possibilidade do uso de uma espécie autógama (feijão) como indicadora ambiental para uma espécie alógama (milho), para utilização no método da seleção geneticamente estratificada e estudar o relacionamento dos erros experimentais, de modo a verificar se o efeito ambiental nas duas espécies utilizadas tem a mesma natureza. Foram utilizados quatro genótipos de milho e quatro genótipos de feijão. Os genótipos de milho foram os híbridos C-125, C-606, C-525 e C-701. As cultivares de feijão foram: Corado, Carioquinha, Milionário 1732 e IAC-Bico de Ouro. O delineamento experimental adotado foi do tipo blocos ao acaso com 3 repetições. Os tratamentos foram constituídos de cultivares de milho em associação com as cultivares de feijão, segundo um fatorial 4 x 4. Os caracteres observados no milho foram: o stand; a altura da planta (medida até o início do pendão); a altura de inserção da 1ª espiga; o comprimento da espiga; o peso da espiga; o número de fileiras de grãos por espiga; o peso de grãos por planta e, o número de ramificações do pendão. No feijão foram observados: o stand; o comprimento de entre-nós; o número de vagens; o número de grãos por planta; o peso de grãos por planta; e o peso de 100 sementes. Foram feitas análises utilizando métodos propostos para o estudo das interações genótipo x ambiente, a fim de estudar as interações genótipo x genótipo. A interação intergenotípica no milho e feijão foi não significativa para todos os caracteres estudados, exceto para o peso de 100 sementes no feijão. As técnicas de estudo da interação genótipo x ambiente foram aplicadas ao estudo das interações genótipo x genótipo, o que possibilitou o aumento da compreensão das relações entre os genótipos. De acordo com os resultados, o genótipo de feijão 1 (Corado) foi responsável pela presença de interação significativa no caráter peso de 100 sementes de feijão, tendo resposta diferenciada em relação aos diferentes genótipos de milho. As correlações entre as variâncias dentro, para caracteres de milho e de feijão, foram, em geral, não significativas, indicando que o feijão não pode ser usado como planta indicadora do ambiente para o milho. A variação devido ao erro experimental no milho foi, em geral, não correlacionada com a variação devido ao erro experimental no feijão, exceto para o caráter número de grãos/planta no feijão, que teve correlação residual altamente significativa com vários caracteres do milho.

## ABSTRACT

ARAÚJO, Gustavo Henrique de Sousa. **Intergenotypic interaction in maize x beans intercropping**. Seropédica: UFRRJ, 2006. 50 p. (Dissertação, Mestrado em Agronomia).

The objective of this work was to study the intergenotypic interaction in a maize and beans intercropping system; to study the application of techniques used in the assessment of genotype x environment interactions to the study of genotype x genotype interactions; to verify the possibility of using an autogamous species (beans) as an environmental indicator for an allogamous species (maize) for use in the genetically stratified selection method; and to study the relationship of experimental errors in order to verify whether the environmental effect in the two species has the same nature. Four genotypes of maize and four genotypes of beans were used. The maize genotypes were the hybrids C-125, C-606, C-525 and C-701. The bean cultivars were Corado, Carioquinha, Milionário 1732 and IAC-Bico de Ouro. The experimental design was random blocks with 3 repetitions. The treatments were maize hybrids in association with bean cultivars, using a 4 x 4 factorial. The characteristics observed in the maize were: stand; the height of the plant, measured to the base of the tassel; the height of insertion of 1<sup>st</sup> spike; the length of the spike; the weight of the spike; the number of rows of grains of the spike; the grain weight per plant and, the ramifications number of the tassel. In the beans the following characteristics were observed: stand; the internodes length; the number of pods; the number of seeds per plant; the weight of seeds per plant; and the weight of 100 seeds. Analysis were conducted using methods considered for the study of genotype x environment interactions, in order to study the genotype x genotype interactions. The intergenotypic interaction in maize and beans was not significant for all the characteristics studied, except for the weight of 100 seeds in the beans. The techniques of study of the genotype x environment interaction can be applied to the study of the genotype x genotype interactions, enhancing the understanding of the relations between the genotypes. According to the results, the beans genotype 1 (Corado) was responsible for the presence of significant interaction in the weight of 100 seeds, having a differentiated response in relation to the different genotypes of maize. The bean cultivars cannot be used as indicator plant for the maize. The variation due to the experimental error in maize was, in general, not correlated with the variation due to the experimental error in beans, except for the number of grains per plant, which had highly significant residual correlation with other characteristics of the maize plant.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Principais características dos genótipos de feijão utilizados no experimento	16
<b>Tabela 2.</b> Análise química do solo realizada antes do experimento .....	17
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise da variância dos caracteres avaliados no milho com seus respectivos coeficientes de variação (CV) expressos em percentuais, e média dos genótipos utilizados com teste das médias (teste Tukey) e suas significâncias .....	23
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise da variância dos caracteres avaliados no feijão com seus respectivos coeficientes de variação (CV) expressos em percentuais, e média dos genótipos utilizados com os testes das médias (teste Tukey) e suas significâncias .....	25
<b>Tabela 5.</b> Desdobramento da análise da variância do feijão dentro do milho para o peso de 100 sementes de feijão .....	27
<b>Tabela 6.</b> Desdobramento da análise da variância do milho dentro do feijão para o peso de 100 sementes de feijão .....	27
<b>Tabela 7.</b> Médias do caráter peso de 100 sementes de feijão .....	28
<b>Tabela 8.</b> Componentes da variância da interação de genótipos de feijão, dois a dois, com os genótipos de milho, para o caráter peso de 100 sementes de feijão.....	31
<b>Tabela 9.</b> Decomposição da interação, de pares de genótipos de milho com genótipos de feijão, em parte simples e complexa .....	32
<b>Tabela 10.</b> Resultados da análise da resposta dos genótipos de feijão aos efeitos dos genótipos de milho, segundo a análise de Eberhart e Russell (1966).....	33
<b>Tabela 11.</b> Correlação de Spearman para as variâncias dentro de parcelas calculadas para todas as variáveis analisadas.....	36
<b>Tabela 12.</b> Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho, valores do mesmo teste, ajustados pelas caracteres do cultivar de feijão 1 - Corado e as correlações.....	38

**Tabela 13.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho, valores do mesmo teste, ajustados pelas caracteres do cultivar de feijão 2 - Carioquinha e as correlações.....38

**Tabela 14.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho, valores do mesmo teste, ajustados pelas caracteres do cultivar de feijão 3 – Milionário 1732 e as correlações.....39

**Tabela 15.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho, valores do mesmo teste, ajustados pelas caracteres do cultivar de feijão 4 – IAC Bico de Ouro e as correlações .....39

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Relacionamento entre a vantagem na produtividade de consorciamento e a competição interespecífica .....9
- Figura 2.** Condições de temperatura média e precipitação na época do experimento....18
- Figura 3.** Regressão dos valores médios dos genótipos de feijão sobre o índice dos efeitos dos genótipos de milho .....34

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Consorciamento de culturas .....	4
2.2. Competição interespecífica.....	6
2.3. Interação genótipo e ambiente.....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1. Materiais genéticos .....	15
3.2. Procedimentos experimentais .....	16
3.3. Análises estatísticas .....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4.1. Consorciamento milho e feijão.....	22
4.2. Estudo da interação genótipo-genótipo .....	29
4.2.1. Método tradicional.....	29
4.2.2. Método de Plaisted e Peterson (1959) .....	30
4.2.3. Interação simples e complexa.....	31
4.2.4. Uso da regressão linear no estudo da interação genótipo-genótipo.....	32
4.3. Estudo da associação entre efeitos ambientais no milho e no feijão .....	35
5. CONCLUSÕES .....	40
6. BIBLIOGRAFIA .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura sustentável procura, ao menos em princípio, usar a natureza como modelo para projetar sistemas agrícolas. Visto que a natureza integra consistentemente suas plantas e animais em uma paisagem diversa, um princípio fundamental da agricultura sustentável é criar e manter a diversidade. A natureza também é eficiente: não existem resíduos na natureza, pois o produto de um organismo transforma-se em matéria-prima para outro, e um organismo morre e transforma-se em alimento para outros organismos. Compreendendo alguns dos princípios pelos quais a natureza funciona, é possível aproveitá-los para reduzir custos e aumentar a lucratividade, ao mesmo tempo em que mantém-se a base de recursos da Terra.

Raramente são encontradas, no agroecossistema, plantas isoladas. Elas coexistem com outras plantas em associações de espécies iguais ou diferentes. Nessa condição, podem ocorrer diferentes tipos de interações entre as espécies, podendo essas ser positivas, negativas e neutras. E o consorciamento é uma delas (RONCHI, 2003).

O consorciamento de culturas é uma forma tradicional de agricultura em muitos países em desenvolvimento com clima tropical. A associação de culturas é considerada uma das práticas mais indicadas e usadas pelo pequeno agricultor, pois além de possibilitar a sua subsistência e da família, propicia: um uso mais eficiente da terra; diminuição dos riscos de insucesso, pois, se uma cultura não for bem, a outra poderá compensá-la; melhor cobertura vegetal do solo; diversidade de dieta e fonte de renda. O uso de diversas formas de associação de culturas está se tornando de grande interesse na prática agrônômica. Isto é em grande parte, devido ao fato que a associação apresenta algumas vantagens em comparação com plantios geneticamente homogêneos. Algumas dessas vantagens são: uma utilização potencialmente maior do espaço ambiental; uma maior estabilidade (homeostase) sobre uma variedade de condições ambientais; e, a possibilidade de uma maior resistência a pragas e doenças (GRIFFING, 1989).

No Brasil, cerca de 38% dos produtores de feijão, totalizando 40% da área semeada com esta cultura, adotam o cultivo consorciado, principalmente com o milho. Enquanto no milho, 52% dos produtores, envolvendo 38% da área semeada, utilizam a prática da associação de culturas (IBGE, 1998).

Embora o consórcio do milho com o feijão seja importante para o Brasil, a atenção maior das pesquisas tem se voltado para o plantio isolado destas culturas, mas preconizando métodos que requerem grandes investimentos para os quais o pequeno produtor não está preparado (CRUZ *et al.*, 1987).

Nos sistemas de consórcio, duas ou mais culturas com diferentes ciclos e arquiteturas vegetativas são exploradas no mesmo terreno. Há diferentes sistemas de consórcio. Nos *cultivos mistos*, nenhuma das culturas é organizada em fileiras distintas, enquanto nos *cultivos intercalares* pelo menos uma delas é plantada em fileiras. Nos *cultivos em faixa*, as culturas são plantadas em faixas suficientemente amplas para permitir o manejo independente de cada cultura, mas bastante estreitas para possibilitar a interação entre elas. Nos *cultivos de substituição*, uma cultura é plantada depois que a anterior alcançou a fase reprodutiva do crescimento, porém ainda não atingiu o ponto de colheita. O feijão é o preferido nos consórcios culturais pelas seguintes razões: a) é cultura de ciclo vegetativo curto e pouco competitiva; b) pode ser semeado em diferentes épocas; c) é cultura relativamente tolerante com a competição movida pela planta consorte; d) é um dos alimentos básicos do povo brasileiro; e) seu preço geralmente alcança bons níveis.

As duas culturas não são, necessariamente, semeadas ao mesmo tempo, mas durante grande parte de seus períodos de desenvolvimento, há uma simultaneidade, forçando uma interação entre elas. Os modos pelos quais o crescimento de uma planta pode influenciar o crescimento de outra são extensos, como por exemplo, a competição por um espaço ambiental limitado, a interferência física (sombreamento), a interferência bioquímica (através da produção de aleloquímicos), entre outros.

Na área consorciada, geralmente, o agricultor utiliza qualquer cultivar de feijão e milho, sem conhecimento prévio de sua adaptação ao sistema. Assim, a expressividade da área cultivada em consórcio e os poucos estudos no setor, deixaram uma dúvida a ser respondida: seriam as cultivares de feijão apropriadas ao cultivo com milho e vice-versa?

No estudo dos componentes da variância em uma população, admite-se que a variância de ambiente seja a mesma para todos os genótipos, e isto, certamente, não é sempre verdadeiro (FALCONER, 1987). Devido à escassez de dados relativos aos efeitos do ambiente sobre diferentes espécies em cultivo consorciado, foi feito um estudo do efeito do ambiente sobre as duas espécies avaliadas.

Este trabalho teve como objetivos:

1. estudar a interação genótipo x genótipo em um plantio consorciado de feijão e milho;
2. estudar a aplicação de técnicas utilizadas na avaliação das interações genótipo x ambiente no estudo das interações genótipo x genótipo;
3. verificar a possibilidade do uso de uma espécie autógama (feijão) como indicadora ambiental para uma espécie alógama (milho), para utilização no método da seleção geneticamente estratificada;
4. estudar o relacionamento dos erros experimentais, de modo a verificar se o efeito ambiental nas duas espécies utilizadas tem a mesma natureza.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Consorciamento de Culturas

Consorciamento é o crescimento de duas ou mais espécies, simultaneamente, no mesmo campo de cultivo, durante uma temporada de crescimento (OFORI e STERN, 1987), sendo uma prática tradicional através dos trópicos. Okigho e Greenland (1976) descreveram o consorciamento como o sistema de cultivo mais disseminado na África. Na América do Norte, o interesse nesse sistema é cada vez maior, por causa de seu potencial para o aumento da produtividade global (FORTIN e PIERCE, 1996). Francis *et al.* (1976) estimaram que 60% da produção de milho e a maioria do feijão cultivado na América Latina são provenientes do consorciamento. Ele é o principal sistema de cultivo no Nordeste do Brasil. Entre as várias combinações adotadas pelos pequenos produtores, o milho e o caupi é uma das mais utilizadas (MORGADO e RAO, 1985).

Estimativas nacionais da proporção de feijão produzida em consórcio têm sido efetuadas, e elas comprovam que há uma variação significativa de região para região, com tendência a decair em alguns estados (VIEIRA, 1999). Há cerca de duas décadas e meia, Andrade *et al.* (1980) mencionaram que 64% da área plantada com feijão, no Estado do Rio de Janeiro, era consorciada com milho e cana-de-açúcar. No Espírito Santo, Candal Neto e Cunha (1985) estimaram em 70% as culturas do feijão associadas ao milho. Flesch e Espíndola (1985) estimaram em 40% a área consorciada de feijão com milho em Santa Catarina, o equivalente a aproximadamente 160 mil hectares. Já em 1999, estimava-se que apenas 12% da área do Estado estivesse consorciada, ou seja, cerca de 32 mil hectares, com tendência declinante (informação pessoal de R.D. Flesch, *appud* VIEIRA, 1999). No Paraná, quase 50% da área cultivada com feijão era consorciada com milho (KRANZ e GERAGE, 1989), mas hoje o plantio consorciado é pouco utilizado (informação pessoal de W.M. Kranz, *appud* VIEIRA, 1999). De acordo com dados provenientes do último Censo Agropecuário (IBGE, 1998), em Minas Gerais, cerca de 65% da área ocupada por feijão, na primeira safra (“águas”), e 50%, na segunda safra (“seca”), constituíam consórcios culturais; no Espírito Santo, perto de 55% e 40%, respectivamente; em São Paulo, quase todo feijão foi produzido em monocultivo. No Nordeste, considerando o feijão e o feijão-de-corda (caupi), os consórcios ocupam áreas proporcionalmente maiores que as do Sudeste.



Considera-se o consorciamento melhor que a monocultura, porque ele produz mais, protege contra os riscos de secas e pragas, e fornece uma dieta humana mais balanceada (VANDERMEER, 1990). Além disso, as culturas diferem no modo como usam os recursos ambientais. Portanto, elas podem se complementar, quando cultivadas juntas, fazendo melhor uso dos recursos do que como monoculturas (WILLEY, 1979). Essa complementaridade pode ser considerada temporal, quando as culturas têm sua principal demanda sobre os recursos em épocas diferentes, ou espacial, devido à diferenças na cobertura vegetal e na dispersão radicular (WILLEY, 1990).

O consorciamento de culturas é empregado sobretudo pelos pequenos agricultores (agricultores de subsistência), que contam com pouca terra, mão-de-obra abundante para a área que dispõem e pouco capital. Vieira (1999) relata que, para os pequenos agricultores, o sistema de consorciamento é interessante porque:

- 1) permite uso mais intensivo da limitada área que possuem. Pelo simples expediente de cultivar conjuntamente duas ou mais plantas, o pequeno agricultor eleva a produção de alimentos sem a necessidade de insumos dispendiosos;
- 2) diminui o risco de insucesso cultural. Se uma cultura falha ou produz pobremente, por causa de problemas climáticos ou ataque de parasitas, a outra ou outras culturas componentes podem compensá-la. Tal compensação pode não ocorrer se as culturas são exploradas separadamente;
- 3) aumenta a proteção vegetativa do solo contra a erosão;
- 4) permite melhor controle da flora invasora que o cultivo “solteiro”, já que apresenta uma alta densidade de plantio que produz uma cobertura vegetativa mais rápida do solo, além do sombreamento;
- 5) possibilita uso mais eficiente da mão-de-obra. Em geral, a pequena propriedade é um negócio familiar, que emprega o trabalho manual, com pouca ou nenhuma mecanização. Nessas condições, as práticas de consorciamento são recomendadas;
- 6) possibilita a redução da incidência de pragas e doenças, tanto em uma cultura, quanto na consorte. Entretanto, em alguns casos ocorre o contrário, isto é, o consorciamento favorece determinadas pragas e doenças, provando que o sistema envolve, quanto a este aspecto, algumas relações complexas;
- 7) possibilita, com freqüência, maiores lucros para o pequeno agricultor que os “stands” puros, além de diversificar as fontes de renda; e,

8) oferece, com a exploração de maior número de culturas na mesma área, maior diversidade de produtos alimentares para o pequeno agricultor e sua família.

Segundo ainda Vieira (1999), a grande desvantagem dos consórcios é o impedimento da utilização, em maior grau, de técnicas agrícolas mais avançadas, capazes de incrementar a eficiência e os altos rendimentos agrícolas.

Nos últimos anos tem havido um maior interesse no consorciamento, não só devido às vantagens já relatadas desse sistema sobre a monocultura (ALLEN e OBURA, 1983; CHANG e SHIBLES, 1985; OLASANTAN, 1988), mas também pela busca por um conhecimento detalhado de como as diferentes espécies são capazes de coexistir produtivamente (VANDERMEER, 1984). A idéia é baseada em alguns poucos conceitos bem conhecidos da ecologia teórica, cujo objetivo é descobrir como as espécies interagem. Por exemplo, o princípio da produção competitiva será influente quando uma espécie tem um efeito sobre o ambiente que causa uma resposta negativa na outra espécie, todavia ambas podem utilizar os recursos necessários mais eficientemente quando vivendo juntas (VANDERMEER, 1981). Entretanto, quando o ambiente de uma espécie é modificado de um modo positivo por uma segunda espécie, de tal modo que a primeira é facilitada pela segunda, o princípio da produção assistida entra em ação. A competição por recursos se desenvolve devido à variação na época de plantio, nos modelos de crescimento radicular, e/ou diferentes demandas por recursos (GHAFFARZADEH *et al.*, 1997).

## **2.2. Competição Interspecífica**

Na experimentação com vegetais, a competição pode ser definida como o efeito de uma planta, ou de um grupo de plantas, sobre outra planta ou grupo de plantas (FEDERER, 1963). Já Fasoulas e Tsafaris, citados por Silva *et al.* (2002), definiram a competição como a partilha compulsória dos recursos ambientais em resposta à escassez desses recursos induzida pela densidade de plantio.

No melhoramento genético, a competição entre plantas pode ser estudada sob vários aspectos. Fasoulas e Fasoula (1995) acreditam que a competição entre plantas é um dos fatores que “mascaram” o valor genotípico na seleção de plantas individuais. De acordo com eles, a seleção poderia ser mais eficiente se as plantas fossem cultivadas em baixas densidades de plantio.

Paterniani e Miranda Filho (1978) procurando melhorar a eficiência da seleção massal simples propuseram uma metodologia de seleção massal estratificada

geneticamente, onde se procura controlar a heterogeneidade do solo usando-se um mesmo genótipo (genótipo constante) para “estratificar” o campo da população sob seleção. Para aplicação do método, cada estrato é formado por três plantas: duas plantas da população e entre elas uma planta do híbrido. A seleção é feita em função das produções das plantas ajustadas em relação à produção da planta de genótipo constante do estrato.

Um dos problemas na aplicação dessa metodologia é a contaminação das plantas sob seleção pelo pólen das plantas de genótipo constante. Silva *et al.* (2002) utilizaram o sorgo como genótipo constante na aplicação da seleção massal estratificada geneticamente em milho justamente para se evitar a ocorrência dessa contaminação. O interesse deles pelo sorgo resultou do fato de as plantas dessa espécie apresentarem hábito de crescimento um tanto semelhante ao milho. Dessa forma, eles realizaram o trabalho para comparar o comportamento do milho, em cultivos mistos com um híbrido de milho e com um híbrido de sorgo, para se conhecer a competição do milho com o sorgo. Eles concluíram que o comportamento do milho foi o mesmo nos cultivos mistos com os híbridos de milho e sorgo.

A competição entre as culturas consorciadas por fatores limitantes ao crescimento é regulada pelas diferenças morfofisiológicas e fatores agrônômicos, tais como a proporção de cada cultura no consórcio e a aplicação de fertilizantes (RUSSELL e CALDWELL, 1989). A competição intraespecífica parece ser mais intensa que a competição interespecífica (OLJACA *et al.*, 2000).

Annicchiarico e Piano (1997), em um estudo com trevo branco e centeio, relataram que ocorreram interações, para a produtividade, entre os genótipos de trevo e a presença ou ausência de interferência intergenotípica ( $P < 0,001$ ), e entre os genótipos de trevo e a presença ou ausência de interferência interespecífica da variedade de centeio, caracterizada pelo maior vigor e agressividade ( $P < 0,01$ ). A variância da primeira interação tendia a ser consistentemente maior que aquela da última interação, indicando que os efeitos competitivos eram maiores entre os trevos, do que entre o trevo e o centeio.

A competição interespecífica é definida como o estresse que é colocado sobre uma planta pelo fenótipo e o arranjo espacial das plantas em seu entorno (HINSON e HANSON, 1961). Tal competição geralmente reduz a sobrevivência, o desenvolvimento ou a reprodução de, pelo menos, uma espécie (CRAWLEY, 1997).

Zhang e Li (2003) relataram que as interações interespecíficas abaixo da superfície do solo e os efeitos da rizosfera entre as espécies consorciadas representam um papel importante na vantagem produtiva do consorciamento. Em seu experimento, com uma cultura de ciclo curto (trigo) e outra de ciclo longo, eles notaram que uma das espécies é a dominante, e que ela tira vantagens do fato de estar sendo cultivada ao lado da outra espécie.

Zhang e Li (2003) propõem um sistema de plantio baseado na recuperação da competição entre as culturas participantes do consorciamento. Isso significa que a interação interespecífica aumenta o desenvolvimento, a absorção de nutrientes e a produtividade da espécie dominante, mas diminui o crescimento e a absorção de nutrientes da espécie subordinada durante o estágio de coexistência das duas culturas. Após a espécie dominante ser colhida, a espécie subordinada tem uma recuperação ou processo complementar, de modo que as produtividades finais continuam inalteradas, ou, até mesmo, aumentam comparadas com a espécie solteira. Esse princípio é adequado para o consorciamento de culturas de diferentes durações de ciclo. Podemos citar como exemplos, o aumento da absorção de ferro pelo amendoim estimulado pelo milho (ZUO *et al.*, 2000) ou, os benefícios do milho, em termos de produtividade e absorção de nitrogênio e fósforo, provenientes do consorciamento com a fava (LI *et al.*, 1999, 2002). A vantagem do consorciamento na produtividade e seu relacionamento com as interações interespecíficas são resumidos na Figura 1.

Os vários estudos sobre consórcios existentes na literatura científica levam em consideração, em sua grande maioria, a eficiência das culturas consorciadas em relação aos respectivos monocultivos (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Vários índices são utilizados com essa finalidade, dentre os quais o Índice de Equivalência de Área (IEA).

O IEA é calculado conforme Willey (1979), e é definido como a área relativa de terra, em cultivo solteiro, necessária para ter os mesmos rendimentos que o cultivo consorciado, ou seja, é a área de monocultivo necessária para produzir o mesmo que um hectare de área em consórcio. O consórcio será eficiente quando o IEA for superior a 1,00 e, prejudicial à produção, quando for inferior a 1,00.

Geno e Geno (2001) concluíram que a competição interespecífica e a facilitação ocorrem ao mesmo tempo. Van der Meer (1989) relata que tanto a competição quanto a facilitação ocorrem em muitos sistemas de consorciamento, e que é possível obter o resultado líquido do índice de equivalência de área (IEA), um indicador da vantagem do consorciamento, menor que um, onde a facilitação complementar está contribuindo mais

para a interação que a interferência competitiva. Portanto, um IEA maior que um poderia resultar de uma baixa competição interespecífica ou de uma forte facilitação.

Muitos cientistas modelaram o efeito de ervas daninhas na produtividade das culturas. Cousens (1985) testou diferentes equações em diferentes espécies e percebeu que modelos hiperbólicos, geralmente, eram os mais apropriados para prever o efeito da competição na produtividade. De acordo com Kropff e van Laar (1993), esse grupo de equações é o mais utilizado para descrever a competição intra ou interespecífica. Kropff e Spitters (1991) demonstraram que as perdas na produtividade estão altamente correlacionadas com o nível de infestação de ervas daninhas entre a emergência e o momento em que o stand cobre o solo. O tempo de duração entre a semeadura e a emergência da cultura competidora irá influenciar a intensidade da competição por nutrientes e luz que elas terão que resistir. Essa competição terá um efeito no estabelecimento da erva daninha e em sua sobrevivência. Ferré *et al.* (2000) mostraram que a competição entre a colza, ervas daninhas e plantas de trigo invasoras depende, na maior parte das vezes, da nutrição de nitrogênio da cobertura durante o outono: os tratamentos com colza sem estresse nutricional, tendo um alto índice de área foliar, limitaram enormemente o crescimento das ervas e dos voluntários de trigo na cultura.

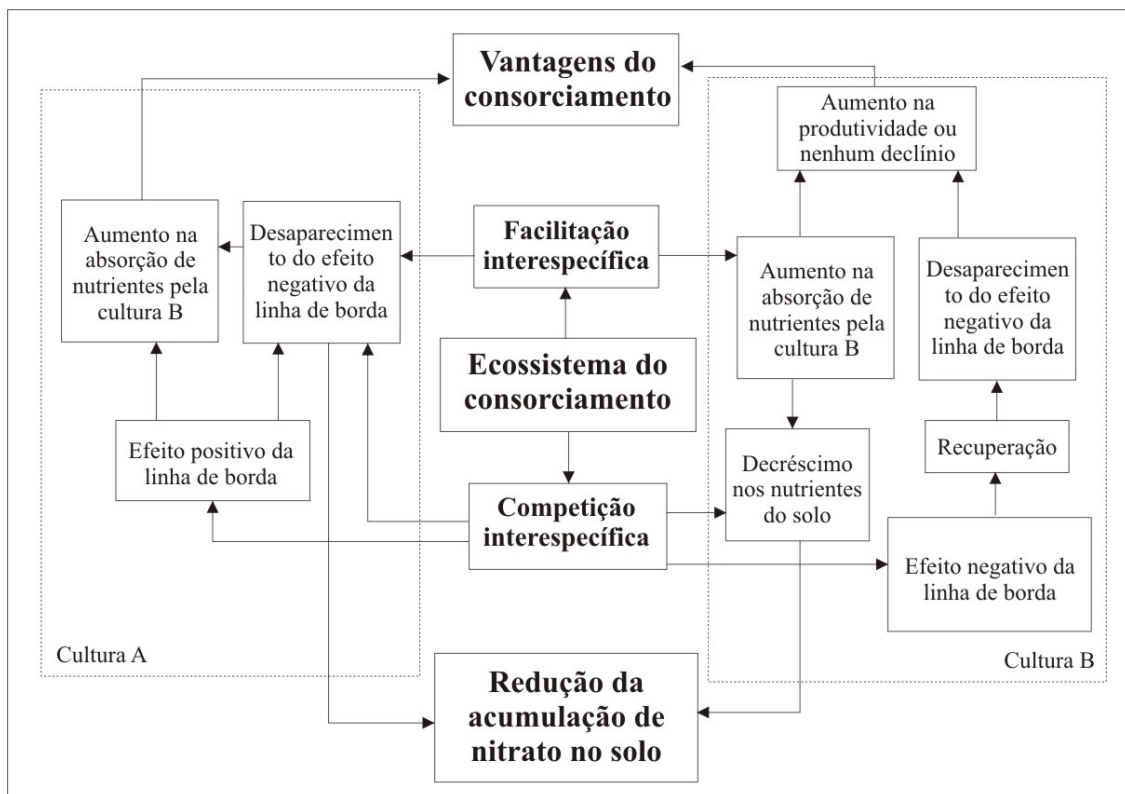


Figura 1. Relacionamento entre a vantagem na produtividade de consorciamento e a competição interespecífica (adaptado de Li *et al.*, 2001).

### 2.3. Interação Genótipo x Ambiente

A variação fenotípica resulta da ação conjunta do genótipo, do ambiente e da interação entre o genótipo e o ambiente (ALLARD, 1971). Esse último componente reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às variações ambientais (FALCONER e MACKAY, 1996), resultando em mudanças no desempenho relativo dos genótipos (FEHR, 1987).

A interação Genótipo x Ambiente (G x E) é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferencial apresentado pelos genótipos, quando submetidos a mais de um ambiente. Uma particularização da interação G x E evidenciada por genótipos e ambientes pode ser realizada através de estudos sobre a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica. A adaptabilidade é a capacidade que um genótipo tem de aproveitar vantajosamente os efeitos ambientais, de maneira a assegurar alto nível de produtividade; já a estabilidade está relacionada com a manutenção da produtividade ou de sua previsibilidade com os ambientes diversos.

As interações de genótipos x ambientes podem surgir por duas razões: (a) por diferentes respostas de igual conjunto gênico em diferentes ambientes; e (b) pela expressão de diferentes conjuntos gênicos em diferentes ambientes (COCKERHAM, 1963). Quando um mesmo conjunto de genes se expressa em diferentes ambientes, as diferenças nas respostas podem ser explicadas pela heterogeneidade das variâncias genéticas e experimentais ou por ambas; e, quando diferentes conjuntos de genes se expressam em ambientes distintos, as diferenças nas respostas explicam-se por uma inconsistência das correlações genéticas entre os valores de um mesmo caráter em dois ambientes (FALCONER e MACKAY, 1996).

O método mais comum para avaliação da interação G x E é a análise de variância conjunta de vários experimentos. A magnitude das interações G x E é determinada através do uso de um teste, normalmente o teste *F*. Estatisticamente, interações G x E são detectadas como um padrão de resposta diferencial e significativo dos genótipos, entre ambientes. Biologicamente, isto ocorre quando as contribuições (ou nível de expressão) dos genes regulando o caráter diferem entre ambientes. Essa contribuição dos genes para a expressão de um caráter é considerada como a base biológica das interações G x E (BASFOR e COOPER, 1998). As causas da interação G x E também têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado (CRUZ e REGAZZI, 1994).

O ambiente é um termo geral que inclui uma série de condições sob as quais as plantas crescem, podendo envolver locais, regiões, épocas, anos, práticas culturais ou de manejo, ou a combinação de todos esses fatores (ROMAGOSA e FOX, 1993). A combinação de local e ano representando um ambiente é muito comum em estudos de estabilidade fenotípica (ZOBEL *et al.*, 1988; ARIYO, 1998; GALVÃO *et al.*, 1998).

Allard & Bradshaw (1964) classificaram as variáveis ambientais em dois grupos: previsíveis e imprevisíveis. As variáveis previsíveis seriam as características gerais de clima e solos que ocorrem de maneira sistemática (p. ex. comprimento do dia e grau de insolação) ou estão sob controle humano (p. ex. época de semeadura, densidade de semeadura e taxas de aplicação de nutrientes). Por outro lado, as variáveis imprevisíveis caracterizam-se por flutuar inconsistentemente e incluem precipitações, temperatura, umidade relativa e eventos climáticos como, por exemplo, geadas e granizo. Segundo Fehr (1987), as variáveis imprevisíveis são as que mais contribuem para as interações genótipos x anos e genótipos x locais x anos.

Os ambientes podem ser classificados em duas categorias: micro e macro-ambientes. Os micro-ambientes estão relacionados a fatores externos (erros estocásticos ou aleatórios) ou internos (acidentes) de um organismo, geralmente, não controláveis (WU e MALLEY, 1998). Os macro-ambientes podem ser controláveis (p. ex. níveis de fertilidade do solo) e não controláveis (p. ex. locais, anos agrícolas e estações ou épocas do ano), que apresentam como principais componentes a temperatura, pluviosidade, e a luminosidade (KEARSEY e POONI, 1998).

Johnson *et al.* (1955) estudaram duas populações de soja (P1 e P2) e estimaram as variâncias genéticas ( $\sigma^2_g$ ) e da interação G x E ( $\sigma^2_{gxe}$ ) em várias combinações de locais e anos; verificaram que, quando as estimativas eram baseadas em apenas um local e um ano, a variância genética era maior do que nos demais casos (mais de um ano e local) e que  $\sigma^2_{gxe}$  era sempre maior quando era baseada em apenas um ano. Também verificaram que no caso da P1, para a qual as estimativas da  $\sigma^2_g$  eram maiores, os ganhos foram menores, ao passo que para a P2, com estimativas de  $\sigma^2_g$  menores, os ganhos foram maiores. Eles concluíram que  $\sigma^2_{gxe}$  indica a variabilidade no comportamento relativo dos genótipos em diferentes ambientes e sua magnitude, em comparação com a variância genética, pode determinar a necessidade de testes em mais de um local e ano, para melhorar a acurácia das médias nas quais a seleção será baseada. Posteriormente, Comstock e Moll (1963) comprovaram que a interação G x E diminui a

correlação entre valores genotípicos e fenotípicos e, conseqüentemente, a resposta à seleção.

Quando os testes de avaliação dos genótipos são conduzidos em um só ambiente, a variância genética pode ficar superestimada, ou seja, pode conter componentes da interação G x E. Sua magnitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a variância genética e, por sua vez, parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético esperado com a seleção (ROCHA e VELLO, 1999).

Burton (1997), enfatizando os meios para melhorar a eficiência dos métodos de melhoramento, incluiu entre eles, o desenvolvimento de métodos para manejar as interações G x E de forma que as herdabilidades para produtividade sejam aumentadas. Toledo *et al.* (2000) também comentam que a baixa herdabilidade do caráter e os consideráveis níveis de interação G x E exigem que a avaliação da produtividade seja criteriosamente realizada para haver progresso genético por seleção.

Vencovsky e BARRIGA (1992) relatam que não basta apenas detectar a presença de interações, deve-se também considerar a sua natureza. Assim, a interação G x E pode ser simples (não causa mudanças na classificação dos genótipos entre ambientes) e complexa (quando altera a classificação dos genótipos entre ambientes). A interação simples indica a presença de genótipos adaptados a uma ampla faixa de ambientes; assim, a recomendação de cultivares pode ser feita de forma generalizada. A interação complexa indica a presença de materiais adaptados a ambientes particulares; isto traz uma complicação para o melhorista uma vez que a recomendação é restrita a ambientes específicos (RAMALHO *et al.*, 1993). A interação relacionada à parte simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, enquanto que a interação complexa, pela falta de correlação nos desempenhos médios dos genótipos entre ambientes (CRUZ e CASTOLDI, 1991).

Metodologias têm sido propostas no sentido de atenuar os efeitos da interação G x E. Pode-se proceder ao zoneamento ecológico ou estratificação de ambientes (estratificação da região em sub-regiões onde a interação seja não significativa), identificação de genótipos com adaptação a ambientes específicos e a identificação de genótipos com ampla adaptação ou estáveis (RAMALHO *et al.*, 1993).

Horner & Frey (1957) propuseram uma metodologia para estratificar ambientes, e utilizaram como medida da dissimilaridade entre locais, o quadrado médio da interação G x E da análise conjunta de variância dos locais, dois a dois. De acordo com



este método, faz-se uma análise de agrupamento, juntando-se por etapas os locais mais similares, para formar sub-regiões mais homogêneas. Em regiões onde ocorre prevalência de fatores ambientais imprevisíveis, a estratificação não se mostra um método eficaz para obter regionalizações consistentes.

Abou-El-Fittouh *et al.* (1969) propuseram uma análise de agrupamento baseada na similaridade da interação G x E, utilizando Distância Euclidiana. Gauch & Zobel (1997) utilizaram o modelo AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) com o auxílio da análise gráfica para alocar locais em megaambientes. Estes representam porções amplas, não necessariamente contíguas, de uma espécie de cultura, desenvolvida em uma região que apresenta ambientes bastantes homogêneos e que produzem genótipos similares quanto à produtividade. Romagosa & Fox (1993) reportaram que a análise AMMI é mais apropriada do que a análise de componentes principais (ACP) para estudos sobre a interação G x E, no que diz respeito ao agrupamento de ambientes.

Atlin *et al.* (2000) propuseram um modelo para estratificação de grandes regiões, baseado na resposta correlacionada com a seleção, com base na eficácia para aumento de ganho genético; assim, a resposta correlacionada na sub-região com seleção indireta na região, relativa à resposta direta com a seleção dentro da sub-região, é expressa como uma função da herdabilidade na região e na sub-região, bem como da correlação genotípica entre médias da região e sub-região.

Em um contexto biológico evolutivo, o termo adaptação pode ser entendido como um processo, e o termo adaptabilidade como característica inerente ao indivíduo, relativo ao seu desempenho em um conjunto de ambientes (RIDLEY, 1997). Para o melhoramento de plantas, no entanto, esses dois termos referem-se a uma condição do indivíduo e não a um processo, que diz respeito à capacidade de resposta de uma cultivar em face de um conjunto de ambientes. Nesse contexto, a resposta diferencial das plantas ou cultivares às alterações ambientais é assunto de grande relevância para programas de melhoramento de diferentes culturas (ROCHA *et al.*, 2005).

Dessa forma, um outro tipo de metodologia para se estudar a interação genótipo x ambiente é aquela utilizada para se avaliar a adaptabilidade e estabilidade de um genótipo frente às variações ambientais. Atualmente, os métodos de Plaisted e Peterson (1959), baseado na análise da variância da interação genótipo x ambiente, Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966), baseados na regressão linear simples, são os mais utilizados para este objetivo (PEIXOTO *et al.*, 2002).

Plaisted e Peterson (1959) verificaram que, quando são testados genótipos em vários locais, uma proporção da variância é devida à interação genótipo x ambiente, e que, dessa variância, cada genótipo contribui com uma determinada fração. O parâmetro de estabilidade é obtido pela média aritmética dos componentes de variância da interação genótipo x ambiente, que envolve um genótipo particular. Os genótipos mais estáveis serão aqueles que contribuem menos para a interação genótipo x ambiente.

Finlay e Wilkinson (1963) definiram estabilidade média de uma forma dinâmica, para caracterizar uma variedade cuja produção varia, de acordo com a capacidade dos ambientes, em proporcionar altas ou baixas produtividades.

Para Eberhart e Russell (1966), a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente os estímulos do ambiente.

A interação  $G \times E$  deve ser encarada, não como um problema ou um fator indesejável, cujos efeitos devem ser minimizados em um programa de melhoramento. Ao contrário, como um fenômeno biológico natural, cumpre conhecê-la bem, para melhor aproveitá-la no processo de seleção (CHAVES, 2001). Assim, genótipos que interagem positivamente com ambientes podem fazer a diferença entre um bom e um ótimo cultivar (DUARTE e VENCOVSKY, 1999). Esse enfoque passa a ter maior importância no caso de espécies onde o investimento é muito alto em insumos e manejo para melhoria do ambiente.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Material Genético

Foram utilizados quatro genótipos de milho e quatro genótipos de feijão. Os genótipos de milho foram os híbridos C-125, C-606, C-525 e C-701. As cultivares de feijão foram: Corado, Carioquinha, Milionário 1732 e IAC-Bico de Ouro.

O genótipo A de milho foi o híbrido C-125, um precoce com estabilidade e rusticidade. Ele é altamente tolerante ao alumínio tóxico e às principais moléstias foliares que ocorrem no Brasil, principalmente à ferrugem. Essas características, mais um excelente enraizamento, permitem uma tolerância maior à seca e aos veranicos (estiagens). Por todas essas razões, o C-125 tem apresentado grande estabilidade de produção ao longo dos anos. É recomendado para colheita mecanizada. É um híbrido duplo com porte médio-alto (2,60 m), e com altura da espiga média (1,40 m). Tem muito boa tolerância à acidez, textura do grão semidura e tipo de espiga cilíndrica com 14 fileiras de grãos. Tem uma excelente estabilidade de produção, uma população recomendada para a área do experimento de 50.000 plantas/ha e ponto de colheita de 120 a 140 dias.

O genótipo B foi o C-606, um híbrido muito precoce e duro. Era o único híbrido duplo, muito precoce, com textura de grão dura existente no mercado. Era também um dos híbridos mais baixos do mercado e de maior resistência a moléstias foliares, inclusive a ferrugem, causada por *Puccinia polysora*. Essas características permitiam que sua área de plantio fosse estendida desde o Rio Grande do Sul até o Brasil Central (regiões mais quentes, sem geadas) e Nordeste do país, em plantio de época normal, safrinha e até mesmo em plantios de inverno sob irrigação, apresentando excelente comportamento. Seu colmo muito forte e porte baixo possibilitam o uso de populações e adubações mais altas, com eficiente colheita mecanizada. Apresenta o porte baixo (2,00 m), e com altura da espiga baixa (1,05 m). Apresenta uma boa tolerância à acidez, textura do grão dura e tipo de espiga cilíndrica com 12 a 14 fileiras de grãos. Apresenta uma excelente estabilidade de produção, uma população recomendada para a área do experimento de 60.000 plantas/ha e ponto de colheita de 110 a 130 dias.

O genótipo C foi o híbrido C-525, um milho precoce, com grande sanidade e estabilidade da Cargill Sementes na ocasião. Combina excelente qualidade de colmo,

raiz e grande sanidade de massa verde com alta produtividade. Isso o torna muito indicado para a colheita mecanizada e sua utilização em silagem. Apresenta plantas de cor verde escuro e alta resistência às principais moléstias do milho que ocorrem no Brasil, exceto a ferrugem polisora, causada por *Puccinia polysora*. Tem excelente tolerância ao alumínio tóxico, apresenta ampla adaptação a diferentes tipos de solo e condições ambientais. Os grãos de cor muito atrativa, ótima sanidade e alta densidade completam a qualidade comercial desse híbrido. É um híbrido duplo com porte médio-alto (2,50 m), e com altura da espiga média-alta (1,30 m). Tem uma excelente tolerância à acidez, textura do grão semidura e tipo de espiga cilíndrica com 14 fileiras de grãos. Tem uma excelente estabilidade de produção, uma população recomendada para a área do experimento de 50.000 plantas/ha e ponto de colheita de 130 a 145 dias.

O genótipo D foi o híbrido C-701, um precoce duro com bastante sanidade da Cargill. É resistente às principais moléstias do milho que ocorrem no Brasil, inclusive à ferrugem polisora, causada por *Puccinia polysora*, e era considerado um dos “Inoxidáveis da Cargill”. Possui a característica “*stay-green*” e excelente resistência ao acamamento e ao quebramento. Têm folhas semi-eretas. É um híbrido perfeito para colheita mecânica. As espigas são maiores, mais grossas e de grãos de excepcional qualidade. É um híbrido muito versátil e não tem limitação climática ou de moléstias. Pode ser plantado em todo o Brasil tanto em época normal quanto em safrinha. É um híbrido duplo com porte médio (2,20 m), e com altura da espiga baixa (1,20 m). Apresenta textura do grão semidura e tipo de espiga cilíndrica com 14 a 16 fileiras de grãos. Tem uma excelente estabilidade de produção, uma população recomendada para a área do experimento de 50.000 a 55.000 plantas/ha e ponto de colheita de 115 a 130 dias (Manual Técnico da Cargill, 1992).

As características das cultivares de feijão utilizadas no experimento são apresentadas na tabela 1. A cultivar Corado não foi descrita por não ter sido encontrada nenhuma informação na literatura científica.

### **3.2. Procedimentos Experimentais**

O experimento foi instalado no ano agrícola de 1991, no período de 29/07 a 29/10, e conduzido no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (latitude sul 22°48' e longitude oeste 43°41', e altitude de 33 m), município de Seropédica, situado na microrregião Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 1.** Principais características dos genótipos de feijão utilizados no experimento.

	Carioquinha	Milionário 1732	Bico de Ouro
Cor da flor	Branca	Violeta	Branca
Hábito de crescimento	Indeterminado 3	Indeterminado 2	Indeterminado 3
Pigmentação do caule	Ausente	Presente	Ausente
Cor da vagem na maturação	Amarela	Arroxeadada	Amarela
Cor primária da semente	Bege	Preta	Bege
Cor secundária da semente	Marron	---	---
Cor do halo	Bege	---	Alaranjado
Brilho da semente	Opaco	Opaco	Brilhante/opaco
Grupo comercial	Carioca	Preto	Mulatinho
Peso de 100 sementes	26,7	19,06	23
Ciclo (dias)	88	99	90 – 95

Fonte: Comunicação pessoal de Dra. Heloisa Torres da Silva (2005)

O solo era do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, cuja análise é apresentada na tabela 2. Os dados climáticos representativos da época do experimento estão apresentados na figura 2 e foram obtidos na Estação Meteorológica Ecologia Agrícola da Pesagro-Rio.

O preparo do solo consistiu de uma aração e duas gradagens.

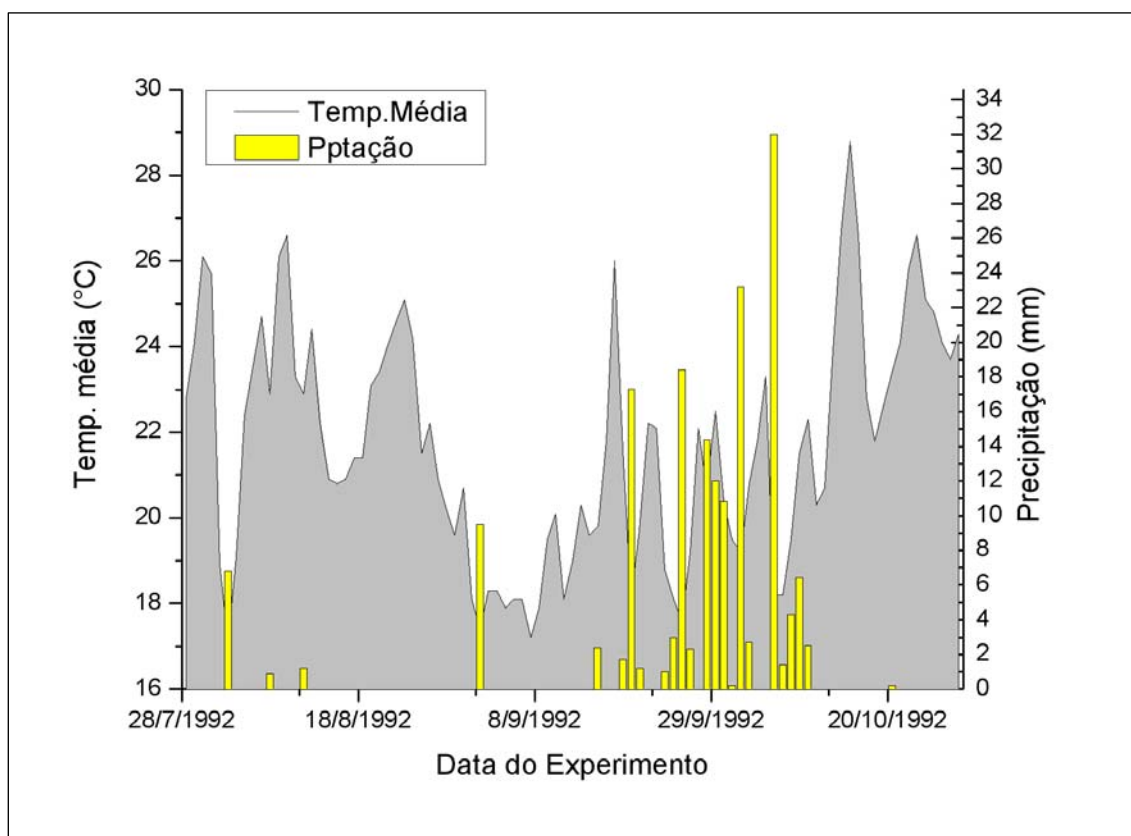
O delineamento experimental adotado foi do tipo blocos ao acaso com 3 repetições. Os tratamentos foram constituídos de cultivares de milho em associação com as cultivares de feijão, segundo um fatorial 4 x 4. As parcelas experimentais foram formadas por uma linha de milho e duas linhas de feijão semeadas com espaçamento de 0,30 m, em relação à linha central do milho. O espaçamento entre plantas de milho foi de 0,20 m e entre plantas de feijão foi de 0,10 m. Tanto as linhas de milho como as de feijão tinham 6 m de comprimento. Foram utilizadas duas linhas laterais de milho em cada parcela, plantadas com a cultivar AG 162, e que foram utilizadas como bordadura (ver esquema em anexo).

A adubação foi feita no sulco, aplicando-se NPK na formulação 4-14-8 equivalente a 140 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (representados por 32,65 g NPK/metro linear). Posteriormente foi feita cobertura com uréia para completar a dose de N para 280 kg N/ha.

Foram plantadas duas sementes/cova para o milho e três sementes/cova para o feijão, sendo realizado o desbaste aos 15 dias após o plantio, deixando-se uma planta por cova.

**Tabela 2.** Análise química do solo realizada antes do experimento.

pH	Al	Ca + Mg	Ca	Mg	P	K	N	C	M.O.
	meq/100 ml				ppm		%		
5,6	0,0	4,4	2,7	1,7	4,0	200	0,105	0,78	1,34



**Figura 2.** Condições de temperatura média e precipitação na época do experimento.

A uréia foi aplicada somente em cobertura, dividida em três aplicações (aos 20 dias, aos 40 dias e aos 60 dias após o plantio), complementando o nitrogênio suprido pelo NPK, representados por 5,8 g uréia/metro linear.

Foram realizadas irrigações por aspersão logo após a semeadura e nas fases de maior necessidade da cultura (fase de florescimento e formação dos grãos), embora em quase todo o período experimental a precipitação tenha sido suficiente. Controles de pragas (principalmente vaquinhas, no feijão) foram feitos com polvilhações de inseticida (Cewin) no dia 19/08/1991, em todo o Bloco I e em parte do Bloco II (somente nas parcelas atacadas). Também foi feita uma polvilhação com Cewin por problemas com lagarta do cartucho no milho, realizado no dia 30/09/1991, após a 2ª adubação do Bloco III. O controle foi realizado em todos os blocos, mas só nas plantas

atacadas. Poucas plantas se apresentavam também infestadas por pulgões, mas como alguns deles já se mostravam parasitados, deixou-se o controle natural.

Em termos de tratos culturais, foram realizadas capinas nos três blocos aos 20 dias após o plantio. Após isso, as culturas se fecharam, impedindo o crescimento das ervas daninhas.

### 3.3. Análises Estatísticas

Os dados foram coletados aos 80 dias após o plantio, na porção central da parcela experimental, com a eliminação de 1,0 m nas extremidades das linhas de milho e, 2,0 m nas extremidades das linhas de feijão. Os caracteres observados no milho foram: o stand; a altura da planta (medida até o início do pendão); a altura de inserção da 1ª espiga; o comprimento da espiga; o peso da espiga; o número de fileiras de grãos por espiga; o peso de grãos por planta e, o número de ramificações do pendão. No feijão foram observados: o stand; o comprimento de entre-nós; o número de vagens; o número de grãos por planta; o peso de grãos por planta; e o peso de 100 sementes.

Esses dados foram preliminarmente corrigidos por meio da análise de covariância, usando o stand das parcelas como covariável. Os dados corrigidos pelo *stand* foram submetidos à análise de variância, no modelo fatorial 4 x 4, com realização do teste F para os efeitos principais e para as interações, determinação das médias e realização de teste de médias de acordo com Tukey (STEEL E TORRIE, 1960).

Também foram tomados dados individuais de 5 plantas tomadas ao acaso, de cada espécie, em cada parcela, com o objetivo de se estimar a variância dentro da parcela. Com o objetivo de estudar a natureza das variações ambientais ocorridas no milho e no feijão foi calculada a correlação de Spearman (STEEL E TORRIE, 1960) entre os valores das variâncias dentro dos diferentes caracteres de milho e feijão.

A seguir foram feitas análises utilizando métodos propostos para o estudo das interações genótipo-ambiente, a fim de estudar as interações genótipo-genótipo, por meio das metodologias descritas abaixo:

#### a) Método tradicional

Consiste da decomposição dos quadrados médios (QMs) do milho (considerado ambiente) dentro do feijão (genótipo), e da composição entre os mesmos, pelo teste F com 3 e 3 graus de liberdade e 5% de probabilidade.

#### b) Método de Plaisted e Peterson

Consiste da análise de pares de genótipos (feijão) e os ambientes, e da determinação do componente da variância de interação envolvida em cada análise. O parâmetro utilizado  $\theta_i$  representa a participação de cada genótipo na interação genótipo-ambiente. Segundo Cruz e Regazzi (1994),

$$\theta_i = \frac{1}{g-1} \left[ \sum_i \hat{\sigma}_{ga_{ir}}^2 \right]$$

onde:  $g$  é o número de genótipos envolvidos;  $\hat{\sigma}_{ga_{ir}}^2$  é a estimativa do componente da variância de interação na análise, onde aparece o genótipo  $i$  e  $i'$ .

#### c) Decomposição em interação simples e complexa

Robertson (1959) propôs a decomposição da interação do genótipo por pares de ambientes em simples e complexa de acordo com a fórmula:

$$QM_I = S + C,$$

onde

$$S = \frac{1}{2} (\sqrt{Q_1} - \sqrt{Q_2})^2 \text{ e}$$

$$C = (1-r) \sqrt{Q_1 \cdot Q_2},$$

onde  $S$  e  $C$  são as partes simples e complexa da interação,  $Q_1$  é o quadrado médio de genótipo no ambiente 1,  $Q_2$  é o quadrado médio de genótipo no ambiente 2 e  $r$  é a correlação das médias dos genótipos no ambiente 1 com as médias dos genótipos no ambiente 2.

#### d) Uso da regressão no estudo da interação

Foi feito o estudo adaptando-se os métodos apresentados por Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966), que são utilizados no estudo da interação genótipo x ambiente, para o estudo da interação genótipo x genótipo. Nesse estudo foi adotado o modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} \cdot I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \text{ em que:}$$

$Y_{ij}$  = média do genótipo  $i$  (feijão) no ambiente  $j$  (milho);

$\beta_{0i}$  = constante da regressão, igual à média geral;

$\beta_{1i}$  = coeficiente de regressão linear;

$I_j$  = índice ambiental, obtido pela diferença entre a média de cada ambiente (milho) e a média geral;

$\delta_{ij}$  = desvios da regressão; e,



$\bar{\varepsilon}_{ij}$  = erro experimental médio obtido na análise preliminar.

De acordo com o modelo foram estimados para cada genótipo, a média, o valor da regressão linear, o quadrado médio da regressão, o quadrado médio dos desvios da regressão e o valor de t para testar a hipótese nula  $\beta_{li} = 1$ .

$$t = \frac{\hat{\beta}_{li} - 1}{\sqrt{\hat{V}_{(\hat{\beta}_{li})}}}, \text{ sendo}$$

$$\hat{V}_{(\hat{\beta}_{li})} = \frac{1}{\sum_j I_j^2} \cdot \hat{\sigma}_\varepsilon^2$$

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{\text{QMR}}{r}$$

A seguir, foram feitas análises de covariância para todas as características de milho, usando as características do feijão, uma por vez, como covariável. Nesta análise foram calculados também os valores das correlações residuais entre as características do milho e do feijão (STEEL E TORIE, 1960).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Consorciamento milho e feijão

Os dados referentes à análise da variância dos caracteres avaliados e os testes das médias (teste Tukey) que foram significativamente diferentes são apresentados nas tabelas 3 e 4. Os dados utilizados nestas análises foram previamente corrigidos pelo *stand* de cada parcela por intermédio da técnica da análise da covariância. Dos sete caracteres avaliados no milho, quatro foram altamente significativos para o milho, enquanto apenas um (número de fileiras de grãos/espiga) foi significativo a  $P = 5\%$  para o feijão.

Em relação aos cinco caracteres analisados no feijão, todos apresentaram um resultado significativo, não ocorrendo o mesmo para o milho que só apresentou uma única variável (peso de 100 sementes do feijão) com resultado significativo (Tabela 4).

Pode-se observar pelos resultados apresentados na tabela 3 que a variação na altura da planta de milho ficou entre 160,3 cm e 171,1 cm (para os genótipos de milho) e entre 163,4 cm e 172,0 cm (para os genótipos de feijão). Esses resultados não foram considerados significativos pela análise estatística realizada. Já em relação à altura de inserção da 1ª espiga, a variação ficou entre 68,2 cm e 91,2 cm (para os genótipos de milho), resultados considerados significativos a 1%, conforme a análise estatística.

A influência dos quatro genótipos de milho foi igualmente significativa (a 1% de probabilidade) com relação ao número de ramificações do pendão, ao comprimento da espiga e ao número de fileiras de grãos/espiga. Entretanto, a influência dos genótipos de milho foi não significativa com relação ao peso da espiga e ao peso de grãos por planta.

As interações entre os genótipos de milho e os de feijão não apresentaram influência significativa para nenhum dos caracteres avaliados.

Ao contrário do milho, a presença do feijão não apresentou influência significativa para nenhum dos caracteres avaliados no milho, exceto para o número de fileiras de grãos/espiga. Esse caráter variou entre 14,03 fileiras de grãos (para o híbrido C-701) e 11,16 fileiras (para o híbrido C-606). Isso não era um efeito esperado, já que essa variável é altamente determinada pelas características genéticas do genótipo de milho utilizado.

**Tabela 3.** Resumo da análise da variância dos caracteres avaliados no milho com seus respectivos coeficientes de variação (CV) expresso em %, e média dos genótipos utilizados com os testes das médias (teste Tukey) significativamente diferentes.

		Altura Planta (cm)	Altura Inserção 1ª Espiga (cm)	Nº Ramificações Pendão	Comprimento Espiga (cm)	Fileiras Grãos / Espiga	Peso Espiga (g)	Peso Grãos / Planta (g)
F.V.	GL	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM
Milho	3	265,9 n.s.	1.372,96 **	30,953 **	6,154 **	16,588 **	246,4 n.s.	157,6 n.s.
Feijão	3	164,8 n.s.	84,51 n.s.	15,331 n.s.	2,510 n.s.	2,868 *	350,1 n.s.	224,2 n.s.
M x F	9	81,7 n.s.	46,33 n.s.	5,434 n.s.	1,603 n.s.	0,957 n.s.	253,2 n.s.	201,4 n.s.
Erro	29	113,3	54,92	6,527	1,239	0,905	255,4	185,6
C.V.		0,5%	2,0%	0,8%	1,6%	3,1%	9,9%	16,7%
Médias								
Genótipos de Milho	C-125	166,8	91,2 a	20,10 ab	15,55 b	12,37 b	34,7	23,5
	C-606	160,3	68,2 b	20,15 ab	17,37 a	11,16 c	29,4	18,0
	C-525	169,3	88,2 a	23,01 a	16,50 ab	12,08 bc	38,5	25,4
	C-701	171,1	75,4 b	19,38 b	16,43 ab	14,03 a	29,1	18,9
Genótipos de Feijão	Corado	166,2	81,1	19,62	16,39	13,11 a	37,2	25,4
	Carioquinha	165,9	79,3	20,18	16,24	12,03 b	27,2	17,1
	Milionário	163,4	78,3	20,60	16,12	12,12 b	29,7	18,6
	Bico de Ouro	172,0	84,4	22,24	17,11	12,38 ab	37,7	24,8
Média Geral		166,9	80,8	20,66	16,46	12,41	32,9	21,5

n.s. = não significativo \* = significativo a 5% \*\* = significativo a 1%

F.V. = Fontes de Variação GL = Graus de Liberdade QM = Quadrado Médio

Fisiologicamente, a adaptação de uma cultivar de milho a certos locais é determinada por fatores como resposta do crescimento da planta à temperatura, o desenvolvimento dos drenos (receptores) e a partição de fotossintetizados (AGUIAR E MOURA, 2003). Lafitte *et al.* (1997) afirmam que a temperatura ótima para muitos processos fisiológicos no milho, como respiração e translocação de carboidratos, obedecem a uma faixa em que seu desempenho, na determinação do número de grãos por planta, não é afetado. Em áreas tropicais, esse é o principal parâmetro responsável pelas maiores oscilações de produtividade da cultura. A obtenção do maior número de grãos possível é uma função da população e do número de espigas por área.

Na cultura do milho, um cereal com sistema fisiológico C4, com baixo ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, o tamanho da espiga pouco contribui para a definição da produção, quando há pequeno número de espigas por unidade de área (AGUIAR E MOURA, 2003). Portanto, segundo Fancelli (1999), pode-se inferir que o número de espigas é mais importante que o seu tamanho, para a produtividade da cultura. O número final de grãos por planta aumenta até um valor máximo à temperatura média de 22°C durante o período de iniciação floral, e também aumenta linearmente com a radiação acumulada durante este período: 1,2 grão adicional é produzido para cada 100 cal/m<sup>2</sup> acumulada. Fischer e Palmer (1984) constatam que, para um grande número de populações tropicais, o tamanho máximo do grão foi alcançado na temperatura média de 24,8°C, com taxa de crescimento do grão de 6,84 mg/dia e uma duração do enchimento efetivo do grão de 31 dias. Apesar do resultado ter sido significativo, é pouco provável que o genótipo de feijão esteja realmente influenciando o número de fileiras de grãos, já que o milho é um competidor mais forte que o feijão, e essa característica é pouco influenciada pelo ambiente. A significância do feijão pode ser simplesmente reflexo do nível de probabilidade usado ( $\alpha = 5\%$ ), uma vez que em sete análises realizadas, a probabilidade de uma ser significativa por acaso é de 0,302 (ou 30%).

Os resultados experimentais apresentados comprovam que, na associação cultural, o milho acusa os efeitos da competição com os feijoeiros, apesar de ele ser o competidor forte. O grau dessa competição depende, sobretudo, da densidade populacional da leguminosa. Na prática usual de consorciamento, o agricultor procura não prejudicar o rendimento do milho ou, então, prejudicá-lo o menos possível, pois, na verdade, quase sempre o feijão é a cultura secundária na associação (VIEIRA, 1999).

A tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos a partir dos testes de campo, levando-se em consideração a resposta de características do feijão. O coeficiente

**Tabela 4.** Resumo da análise da variância dos caracteres avaliados no feijão com seus respectivos coeficientes de variação (CV) expressos em %, e média dos genótipos utilizados com os testes das médias (teste Tukey) significativamente diferentes.

		Comprimento Entre-Nós (cm)	Nº Vagens	Nº Grãos	Peso Grãos (g)	Peso 100 Sementes (g)
F.V.	GL	QM	QM	QM	QM	QM
Milho	3	0,090 n.s.	168 n.s.	4.478 n.s.	402,3 n.s.	38,83 **
Feijão	3	23,782 **	60.090 **	2.122.634 **	11.555,9 **	1.230,97 **
M x F	9	0,459 n.s.	449 n.s.	22.776 n.s.	435,4 n.s.	25,42 **
Erro	29	0,419	1.129	22.909	876,7	7,45
C.V.		9,1%	16,6%	18,1%	22,0%	1,6%
Médias						
Genótipos de Milho	C-125	6,98	199,8	830	133,1	22,89 a
	C-606	7,14	198,3	818	128,8	19,01 b
	C-525	7,12	206,8	866	143,3	22,41 a
	C-701	7,18	203,2	838	133,1	21,70 a
Genótipos de Feijão	Corado	8,92 a	100,1 c	227 b	87,7 b	38,29 a
	Carioquinha	7,10 b	220,0 b	963 a	138,6 a	16,73 b
	Milionário	5,50 c	264,8 a	1.199 a	157,3 a	14,51 b
	Bico de Ouro	6,89 b	223,1 b	964 a	154,7 a	18,14 b
Média Geral		7,10	202,0	838	134,6	21,90

n.s. = não significativo \* = significativo a 5% \*\* = significativo a 1%

F.V. = Fontes de Variação

GL = Graus de Liberdade

QM = Quadrado Médio

de variação (CV) apresentou o valor mais baixo para o caráter peso de 100 sementes de feijão (1,6%). Para as demais características, o valor do coeficiente de variação ficou entre 9,1% e 22,0%, valores considerados aceitáveis para experimentos de campo (PIMENTEL-GOMES, 1987).

Para os quatro genótipos de milho utilizados no experimento, observa-se que a variação entre o comprimento de entre-nós do feijão ficou entre 6,98 cm e 7,18 cm. Esses resultados não foram considerados significativos pela análise estatística realizada. Já em relação aos quatro genótipos de feijão utilizados, o comprimento de entre-nós ficou entre 5,50 cm e 8,92 cm, resultados considerados significativos a 1%, conforme a análise estatística.

A influência dos quatro genótipos de milho foi igualmente não significativa com relação às características do feijão, número de vagens, número de grãos/planta e peso de grãos/planta. Entretanto, a influência dos genótipos de milho foi significativa a 1% com relação ao peso de 100 sementes de feijão. Neste caso, a variação ficou entre 19,01 g e 22,89 g.

Ao contrário do milho, o genótipo de feijão apresentou influência significativa a 1% para o número de vagens, o número de grãos/planta e o peso de grãos/planta. Para o peso de 100 sementes de feijão, a influência também foi significativa a 1%, como no caso da influência do milho.

As interações entre os genótipos de milho e os de feijão apresentaram influência significativa a 1% apenas sobre o peso de 100 sementes de feijão. Nos demais caracteres essas interações foram não significativas. Isso sugere que o comportamento dos genótipos de feijão, quando submetidos ao consorciamento com diferentes genótipos de milho, não é consistente em relação ao caráter peso de 100 sementes. Dessa forma, deve-se fazer um estudo complementar pelo desdobramento da interação.

Na tabela 5 pode-se ver os resultados do desdobramento da análise da variância do efeito do feijão dentro de cada genótipo de milho para o caráter peso de 100 sementes. Os resultados indicaram que houve variação semelhante para os genótipos de feijão dentro de todos os genótipos de milho, sendo o teste F significativo. Já na tabela 6 encontra-se os resultados do desdobramento do milho dentro do feijão.

A análise dos dois desdobramentos é, às vezes, rejeitada, por representar um excesso de graus de liberdade. No entanto, Steel e Torie (1960) afirmam que é natural que se façam os dois desdobramentos nos casos de modelos fatoriais. Nesta análise observa-se que apenas o feijão 1 apresentou variância significativa para o milho, sendo

as demais não significativas. Portanto, o comportamento desse genótipo frente às mudanças do genótipo do milho foi diferente dos demais. Esta diferença no comportamento é que justifica a significância para a interação, observada na análise preliminar. O feijão 1 (carioquinha) apresenta variação muito maior que os demais, frente à mudança do genótipo de milho.

Isso pode ser corroborado pelos resultados apresentados na tabela 7 para as médias do caráter peso de cem sementes do feijão. Se observa que o feijão 1 sempre se destaca frente aos demais, variando seu peso de cem sementes de 28,30 g, quando cultivado junto com o genótipo de milho 2 (C-606), até 40,76 g, quando na presença do genótipo de milho 1 (C-125). Isso representa mais que o dobro dos outros genótipos de feijão em certos casos.

**Tabela 5.** Desdobramento da análise da variância do feijão dentro do milho para o peso de 100 sementes de feijão.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.
Blocos	2	2,000	1,0000	0,1350	
Milho	3	110,572	36,8573	4,9748	0,0064
Feijão/Milho 1	3	1313,283	437,7608	59,0861	1,07E-12 <sup>**</sup>
Feijão/Milho 2	3	365,896	121,9653	16,4621	1,65E-06 <sup>**</sup>
Feijão/Milho 3	3	1084,483	361,4944	48,7921	1,18E-11 <sup>**</sup>
Feijão/Milho 4	3	1261,409	420,4697	56,7522	1,78E-12 <sup>**</sup>
Resíduo	30	222,266	7,4089		
Total	47				

n.s. = não significativo    \* = significativo a 5%    \*\* = significativo a 1%

**Tabela 6.** Desdobramento da análise da variância do milho dentro do feijão para o peso de 100 sementes de feijão.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.
Blocos	2	2,000	1,0000	0,1350	
Feijão	3	3802,677	1267,5590	171,0868	5,91E-19
Milho/Feijão 1	3	294,367	98,1222 a	13,2439	1,11E-05**
Milho/Feijão 2	3	30,856	10,2853 b	1,3882	0,2655 <sup>ns</sup>
Milho/Feijão 3	3	5,567	1,8556 bc	0,2505	0,8604 <sup>ns</sup>
Milho/Feijão 4	3	2,177	0,7256 c	0,0980	0,9606 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	222,266	7,4089		
Total	47				

n.s. = não significativo \* = significativo a 5% \*\* = significativo a 1%

Obs.: letras diferentes representam QM dentro diferentes pelo teste  $F_{3,3,5\%}$  (Cruz e Regazzi, 1994)

**Tabela 7.** Médias do caráter peso de 100 sementes de feijão.

Feijão	Milho			
	1 (C-125)	2 (C-606)	3 (C-525)	4 (C-701)
1 (Corado)	40,76 a A	28,30 a B	38,54 a A	38,90 a A
2 (Carioquinha)	17,52 b A	14,26 b A	18,82 b A	16,32 b A
3 (Milionário)	14,86 b A	15,21 b A	14,68 b A	13,28 b A
4 (Bico de Ouro)	18,64 b A	18,26 b A	18,08 b A	17,60 b A

Médias seguidas por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) diferem entre si em nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



## **4.2. Estudo da interação genótipo x genótipo**

São raros os estudos envolvendo a interação genótipo x genótipo em plantas. Os estudos mais comuns abordam o consórcio do ponto de vista agrônomo, sem se aprofundar na natureza da interação entre os genótipos. Estudos mais profundos da interação são comuns quando se estuda genótipo e ambiente. Dezenas de métodos genético-estatísticos foram criados com o intuito de averiguar a relação entre genótipos e ambientes e suas interações, tais como, Plaisted e Peterson (1959), Eberhart e Russel (1966), Silva e Barreto (1985), entre outros. De forma ampla pode-se considerar que em um consórcio uma cultura seja o “ambiente” da outra, ou seja, no caso do milho e feijão, o milho é um fator ambiental para o feijão, assim como o feijão é um fator ambiental para o milho. Dessa forma, é lícito usar os mesmos métodos empregados no estudo da interação genótipo x ambiente para o estudo da interação genótipo x genótipo.

No presente caso, a maioria das interações entre genótipos de milho e genótipos de feijão foi não significativa, tanto para os caracteres medidos no milho, como para os caracteres medidos no feijão, à exceção do peso de 100 sementes de feijão, como foi visto anteriormente. Assim, essa característica será usada para demonstrar o emprego de técnicas para análise da interação genótipo x ambiente no estudo da interação genótipo x genótipo.

Como a característica a ser estudada foi determinada no feijão, os genótipos de milho serão considerados como diferentes ambientes. Isso, no entanto, não é obrigatório.

### **4.2.1. Método tradicional**

Nesse método, o estudo da interação genótipo x ambiente é feito pelo desdobramento da interação de modo a se determinar a variância dos ambientes dentro de cada genótipo (CRUZ E REGAZZI, 1994). No caso presente equivaleria a se determinar a variação do efeito do milho sobre a característica usada, dentro de cada genótipo de feijão. O objetivo desse estudo seria determinar qual o genótipo de feijão tem uma resposta mais estável quando se varia o genótipo de milho.

Este desdobramento já foi realizado e está apresentado na tabela 6, na qual observa-se que a variação dentro do feijão 1 (carioquinha) foi altamente significativa, enquanto a variação dentro dos demais foi não significativa. Por esse resultado, pode-se afirmar que o feijão 1 é mais instável frente à mudança de genótipos de milho do que os

demais. O genótipo de feijão mais estável (invariável) seria o feijão 4 (corado) que apresentou o menor quadrado médio dentro.

Cruz e Regazzi (1994) sugerem o uso do teste F entre os quadrados médios dentro de cada genótipo para testar as diferenças entre os mesmos e, estabelecer grupos de genótipos de acordo com a estabilidade. No caso atual, o genótipo feijão 1 (carioquinha) formaria sozinho um grupo, pois o valor do quadrado médio dentro é significativamente superior a todos os demais. O quadrado médio dentro do feijão 2 (milionário 1732) não difere significativamente do quadrado médio dentro do feijão 3 (bico de ouro), que por sua vez não difere significativamente do quadrado médio dentro do feijão 4 (corado). Estes poderiam formar um único grupo, já que todos estes quadrados médios não diferem significativamente do quadrado médio residual.

#### 4.2.2. Método de Plaisted e Peterson (1959)

Por esse método, o comportamento das cultivares frente ao ambiente é estudado fazendo-se análises da interação de pares de genótipos com o ambiente e, calculando-se o componente de variância associado a essa interação. A seguir, é calculado um parâmetro  $\theta_i$  para cada genótipo, que vem a ser a média dos componentes de variância da interação nos pares onde o genótipo apareceu. A média dos valores de  $\theta_i$  será igual ao componente de variância de interação da análise conjunta. Portanto, trata-se de uma decomposição da variância de interação que pode ser atribuída à cada genótipo. Com isso, pode-se atribuir a cada genótipo um grau maior ou menor de importância na formação da interação observada na análise preliminar.

No caso presente, o milho foi considerado como ambiente. Portanto, foram feitas análises da interação genótipo x genótipo envolvendo as cultivares de feijão, duas a duas, com todas as cultivares de milho (seis análises). Os resultados em termos de componentes de variância encontram-se na tabela 8.

Nessa tabela observa-se que o genótipo 1 de feijão foi o que mais contribuiu para a interação em 55% da variância de interação. O genótipo que menos contribuiu para a interação foi o do feijão 2 com apenas 8,32%, sendo, portanto, nesse caso, considerado o mais estável.

Os resultados desse estudo concordam apenas parcialmente com os do método tradicional, já que naquele caso o genótipo considerado mais estável foi o 4, que aqui aparece com 16% de variância de interação.

**Tabela 8.** Componentes da variância da interação de genótipos de feijão, dois a dois, com os genótipos de milho, para o caráter peso de 100 sementes de feijão.

	F1	F2	F3	F4	Média	%
F1		2,070	5,322	4,495	3,963	55,00
F2	2,070		-0,047	-0,224	0,600	8,32
F3	5,322	-0,047		-0,810	1,489	20,66
F4	4,495	-0,224	-0,810		1,154	16,01
			Média geral		1,801	

A explicação para a discrepância é que no método tradicional procura-se averiguar a variação absoluta ocorrida em função da variação do genótipo de milho dentro de cada genótipo de feijão. Ao estudar a interação, leva-se em conta o comportamento relativo das cultivares de feijão frente à mudança do genótipo de milho. A interação surge quando os genótipos de feijão apresentam comportamentos discrepantes entre si frente às mudanças de genótipos de milho. Sendo assim, a cultivar que menos irá contribuir para a interação é aquela que tem um comportamento mais semelhante à média de todas as cultivares, e não aquela que tenha a menor variação. Pode-se afirmar, então, que a cultivar de feijão 2 (milionário 1732) é a que melhor representa o comportamento médio dos feijões frente à mudança de genótipos de milho.

#### 4.2.3. Interação simples e complexa

Robertson (1959) propôs uma decomposição dos quadrados médios da interação genótipos x pares de ambientes em duas partes: simples e complexa. A parte simples corresponde a uma diferença na variação dos genótipos nos ambientes. A parte complexa corresponde à falta de correlação das médias dos genótipos de um ambiente para o outro. Essa decomposição se reveste de importância na escolha de materiais adequados aos ambientes, uma vez que se ocorrer apenas interação simples, a variação genotípica se altera, mas a ordem dos genótipos não se altera. Portanto, o melhor genótipo em um ambiente será também o melhor genótipo em outro ambiente. Já quando ocorre interação complexa, existe falta de correlação dos valores dos genótipos de um ambiente para o outro. Portanto, o melhor genótipo em um ambiente não será necessariamente o melhor em outro ambiente.

No presente caso, o milho foi usado no lugar do ambiente, sendo feitas análises de pares de milho com os genótipos de feijão, e a interação obtida sendo decomposta em

**Tabela 9.** Decomposição da interação, de pares de genótipos de milho com genótipos de feijão, em parte simples e complexa.

Par	Simple	Complexa	Soma
M1 – M2	15,447	1,918	17,365
M1 – M3	0,670	0,377	1,047
M1 – M4	0,033	0,035	0,068
M2 – M3	9,683	3,050	12,733
M2 – M4	14,060	1,869	15,929
M3 – M4	0,407	0,350	0,757

simples e complexa, cujos resultados estão na tabela 9. Pode-se dizer que a interação simples predominou para essa característica, uma vez que apenas no par M1 – M4 o valor da interação complexa foi maior que o da interação simples, sendo que esse par apresentou um valor pequeno para o quadrado médio da interação. Nos demais pares, principalmente naqueles que apresentaram grandes valores para os quadrados médios da interação, predominam a interação simples (M1 – M2, M2 – M3 e M2 – M4).

Esse resultado sugere que a interação observada para essa característica é originada na diferença entre os quadrados médios dos genótipos de feijão, de um milho para o outro. De acordo com o que foi declarado por Cockerham (1963), pode-se dizer que, neste caso, a interação do feijão com o milho é caracterizada por diferentes respostas de igual conjunto gênico nos diferentes milhos. Isso indica que a escolha do genótipo de feijão pode ser única para todos os genótipos de milho, apesar da interação. Isso, de fato, pode ser observado na tabela 7, onde o feijão 1 (carioquinha) apresenta o maior peso de 100 sementes em todos os genótipos de milho e o feijão 4 (corado) apresenta o segundo maior peso, exceto no milho 3 (C-525), no qual apresentou valor muito semelhante ao do feijão 2 (milionário 1732). O feijão 3 (bico de ouro) apresentou os menores valores, exceto no milho 2 (C-606). Conclui-se, então, que apesar da interação podemos selecionar uma única cultivar de feijão para ser usada com todos os genótipos de milho.

#### 4.2.4. Uso da regressão linear no estudo da interação genótipo-genótipo

A análise de regressão linear é frequentemente usada para se estudar a resposta dos genótipos aos ambientes (FINLAY E WILKINSON, 1963; EBERHART E RUSSELL, 1966; TAI, 1971; CRUZ, TORRES E VENCOSKY, 1989; etc.). Nessas

análises, as médias de cada genótipo obtidas nos diferentes ambientes são estudadas com base na regressão sobre um índice ambiental obtido pelas médias gerais de todos os genótipos em cada ambiente. Os métodos mais tradicionais são o de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966), que são bastante semelhantes na forma de análise. Esses métodos foram adaptados para o estudo da resposta dos genótipos de feijão à mudança dos genótipos de milho, utilizando-se a característica peso de 100 sementes. Foram utilizados como parâmetros as médias de cada genótipo, o valor da regressão linear (b) e o valor do desvio da regressão apresentados na tabela 10.

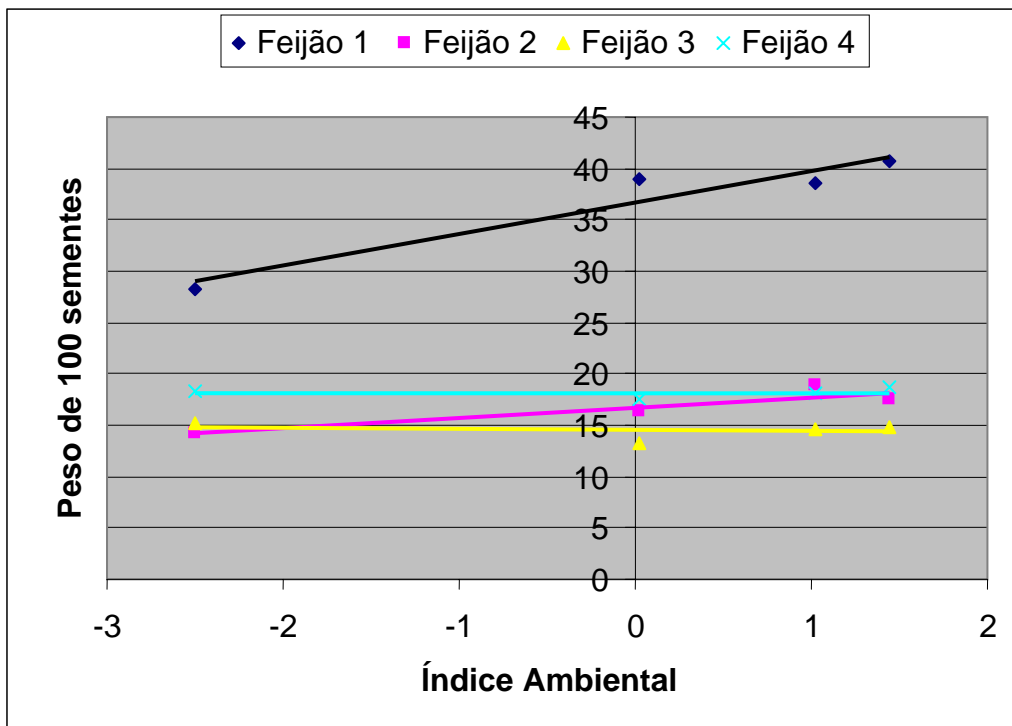
Pelos resultados, observa-se que a cultivar feijão 1 (carioquinha) foi a única que teve quadrado médio da regressão significativo, tendo um valor de b igual a 3,072, que difere da unidade de forma altamente significativa, e tendo também média alta e quadrado médio do desvio não significativo. Usando-se a terminologia empregada no estudo da interação genótipo x ambiente, pode-se dizer que esse genótipo de feijão foi altamente responsivo aos efeitos do milho e com uma resposta estável. Já o genótipo feijão 4 (corado) apresentou-se não responsivo, isto é, teve b menor do que 1. O genótipo feijão 3 (bico de ouro) apresentou um b negativo e significativo quando comparado à unidade, mostrando que teve uma resposta inversa aos demais genótipos com relação ao efeito do milho. O genótipo feijão 2 (milionário 1732) apresentou um b praticamente igual a 1, o que indica que a sua resposta foi semelhante à resposta média de todos os genótipos (Figura 3).

**Tabela 10.** Resultados da análise da resposta dos genótipos de feijão aos efeitos dos genótipos de milho, segundo a análise de Eberhart e Russell (1966).

Genótipo	Média	b	t	QM <sub>R</sub>	QM <sub>D</sub>
Feijão 1	36,624	3,072	**	265,084 *	10,422
Feijão 2	16,732	1,009	n.s.	28,575 n.s.	2,613
Feijão 3	14,509	-0,118	*	0,392 n.s.	3,050
Feijão 4	18,144	0,038	ns	0,040 n.s.	0,827

QM<sub>R</sub> = quadrado médio da regressão

QM<sub>D</sub> = quadrado médio do desvio da regressão



**Figura 3.** Regressão dos valores médios dos genótipos de feijão sobre o índice dos efeitos dos genótipos de milho.

### **4.3. Estudo da associação entre efeitos ambientais no milho e no feijão**

Na tabela 11 observa-se os resultados da correlação de Spearman para as variâncias calculadas dentro das parcelas para as variáveis medidas no milho e no feijão. De forma geral, observam-se valores significativos envolvendo variáveis milho-milho e feijão-feijão. Fato já esperado, pois reflete a influência do ambiente sobre as características da espécie milho ou feijão, de forma concomitante. Por exemplo, a variância dentro para a altura da planta foi altamente correlacionada com a variância dentro de altura de inserção da 1ª espiga no milho, indicando que esses dois caracteres sofrem influências ambientais comuns. Assim como, por exemplo, o peso de grãos/planta no feijão teve correlação significativa com o número de grãos/planta, indicando que essas características também têm influência comum. Já para as combinações envolvendo caracteres do milho e do feijão não se observou nenhuma correlação significativa, à exceção do caráter peso de cem sementes no feijão com o peso da espiga no milho. A não significância dessas correlações indica que as parcelas onde o milho teve maiores variações não apresentaram também grandes variações para o feijão.

O fato de uma correlação dentre 35 ter sido significativa poderia ser atribuído ao acaso, já que o teste de significância é feito ao nível de 5% de probabilidade. Portanto, a correlação entre a variação do peso de cem sementes e a do peso da espiga poderia ser considerada apenas fruto de coincidência. No entanto, o fato de um caráter (peso de cem sementes) no feijão ter apresentado também significância para o efeito do milho e para a interação genótipo de milho x genótipo de feijão leva a pensar que, de alguma forma, esse caráter está mais ligado que os outros aos efeitos dos genótipos de milho.

Paterniani e Miranda Filho (1978) propuseram o método da seleção massal estratificada geneticamente. Nesse método, um genótipo constante é plantado intercalado com plantas da população sob seleção para servir como indicador ambiental na seleção. O método se baseia na expectativa de que a variação ambiental ocorrida entre as plantas com o mesmo genótipo, seja a mesma que a ocorrida entre plantas com diferentes genótipos. No caso de plantas alógamas, uma dificuldade para o método é a contaminação das plantas pelo pólen das plantas de genótipo constante (plantas monitoras). Por isso, Silva *et al.* (2002) propuseram o uso de plantas de outras espécies como o sorgo, por exemplo. Nesse caso, o uso de uma planta autógama poderia ser vantajoso pela facilidade da obtenção de genótipos constantes. Pelos resultados obtidos, parece que o feijão não se prestaria como planta monitora para o milho, uma vez que a

**Tabela 11.** Correlação de Spearman para as variâncias dentro de parcelas calculadas para todas as variáveis analisadas (AP = altura da planta; AIPE = altura de inserção da 1ª espiga; NRP = nº ramificações pendão; CE = comprimento da espiga; NFGE = nº de fileiras de grãos/espiga; PE = peso da espiga; PGP = peso de grãos/planta; CEN = comprimento dos entre-nós; NV = nº de vagens; NGP = nº de grãos/planta; PGPF = peso de grãos/planta de feijão; P100 = peso de 100 sementes).

		Milho						Feijão				
		AIPE	NRP	CE	NFGE	PE	PGP	CEN	NV	NGP	PGPF	P100
Milho	AP	0,80**	0,73**	0,47**	0,47**	0,49**	0,45*	0,28 <sup>NS</sup>	-0,12 <sup>NS</sup>	-0,06 <sup>NS</sup>	-0,02 <sup>NS</sup>	0,18 <sup>NS</sup>
	AIPE		0,58**	0,10 <sup>NS</sup>	0,37**	0,52**	0,51**	0,21 <sup>NS</sup>	-0,11 <sup>NS</sup>	-0,07 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,26 <sup>NS</sup>
	NRP			0,51**	0,15 <sup>NS</sup>	0,33*	0,27 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>	0,07 <sup>NS</sup>	0,15 <sup>NS</sup>	-0,09 <sup>NS</sup>
	CE				0,03 <sup>NS</sup>	0,05 <sup>NS</sup>	-0,03 <sup>NS</sup>	0,15 <sup>NS</sup>	-0,09 <sup>NS</sup>	-0,06 <sup>NS</sup>	-0,06 <sup>NS</sup>	-0,03 <sup>NS</sup>
	NFGE					0,12 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	-0,24 <sup>NS</sup>	-0,20 <sup>NS</sup>	-0,17 <sup>NS</sup>	0,17 <sup>NS</sup>
	PE						0,99**	0,20 <sup>NS</sup>	-0,21 <sup>NS</sup>	-0,18 <sup>NS</sup>	-0,11 <sup>NS</sup>	0,31*
	PGP							0,20 <sup>NS</sup>	-0,19 <sup>NS</sup>	-0,17 <sup>NS</sup>	-0,11 <sup>NS</sup>	0,28 <sup>NS</sup>
Feijão	CEN								-0,53**	-0,52**	-0,49**	0,57**
	NV									0,97**	0,88**	-0,76**
	NGP										0,88**	-0,78**
	PGPF											-0,50**

\* = significativo a 5%    \*\* = significativo a 1%



variação dentro de parcela ocorrida nas características do feijão não se correlacionou com a variação dentro de parcela ocorrida no milho (Tabela 11).

Por outro lado, esses resultados poderiam ser interpretados do ponto de vista do efeito da competição interespecífica ocorrendo em cada parcela. Segundo Fasoulas e Tsafaris, citados por Silva *et al.* (2002), a competição é a partilha compulsória dos recursos ambientais. Dessa forma, poderia se esperar que a variação ocorrida em duas espécies competidoras poderia ser correlacionada, isto é, já que ambas competem pelos mesmos recursos, nos locais onde esses recursos fossem abundantes, ambas se desenvolveriam bem. Nos locais onde os recursos fossem escassos, a competição seria mais forte e ambas perderiam. O mesmo poderia ser dito se ocorresse o fenômeno da facilitação (VANDERMEER, 1989), pois nesse caso, o maior desenvolvimento de uma espécie levaria ao maior desenvolvimento da outra, fazendo com que a variação dentro das parcelas fosse semelhante. No caso aqui estudado, pode-se concluir que as variações ocorridas no milho, de forma geral não acompanharam às ocorridas no feijão. Pode-se com isso inferir que o estrato ambiental explorado pelo milho seja diferente daquele explorado pelo feijão, o que para o consórcio é interessante. Possivelmente, o maior efeito do milho sobre o feijão é no sombreamento, conforme estudado por Tsubo e Walker (2004).

Outra maneira de estudar o efeito ambiental é observando as correlações residuais e a capacidade de uma característica servir como covariável para outra, diminuindo o erro experimental  $Q_{Me}$  e, com isso, obtendo um teste F ajustado com probabilidade menor (maior significância). Para estudar o efeito ambiente entre as parcelas do experimento foram feitas análises dos caracteres medidos no milho, usando os caracteres medidos no feijão como covariável. Cada cultivar de feijão foi estudada isoladamente fazendo-se análises de covariância de cada caráter do milho com cada caráter do feijão como covariável. Caso a variação ambiental entre parcelas no milho e no feijão sejam independentes, o que pode ser verificado pelo coeficiente de correlação  $r$ , a análise ajustada apresentará resultado superior à não ajustada, pois uma parcela do erro experimental será explicada pela regressão residual sobre a covariável.

Os resultados dessas análises se encontram nas tabelas 12, 13, 14 e 15. Observando-se os valores das correlações residuais, pode-se dizer que a maioria foi não significativa, de acordo com o que já vinha sendo observado anteriormente (Tabela 11). No entanto, para o feijão 1 (carioquinha), a característica número de grãos/planta apresentou correlações residuais altamente significativas, com a altura da planta, a

altura de inserção da 1ª espiga, número de ramificações do pendão e número de fileiras de grãos/espiga. Em concordância, o teste F ajustado apresentou resultados significativos para essas características, sendo que na análise não ajustada os resultados eram não significativos. Isso leva a concluir que diferentemente das demais, a cultivar 1 de feijão (carioquinha) apresentou variação entre parcelas semelhante à que ocorreu no milho, e poderia ser usada como planta indicadora. Isso, no entanto, ocorreu apenas para o número de grãos/planta. Obviamente que isso exigiria maiores estudos.

**Tabela 12.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho e valores do mesmo teste ajustados pelos caracteres do cultivar de Feijão 1, e as correlações residuais.

Caráter no milho	Prob. não ajustada	Probabilidade de F ajustada e correlações									
		CEN		NV		NGP		PGP		P100	
		Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r
Altura Planta	0,663	0,717	0,078	0,381	0,653	0,008	0,950**	0,569	0,354	0,690	-0,220
Altura de inserção da 1ª espiga	0,525	0,564	0,170	0,214	0,679	0,007	0,928**	0,500	0,295	0,525	-0,265
No Ramificações Pendão	0,269	0,375	0,008	0,216	0,488	0,016	0,871**	0,240	0,391	0,345	-0,017
Compr. Espiga	0,389	0,467	-0,021	0,505	0,074	0,319	0,416	0,320	0,408	0,485	0,206
No. Fileira de Grãos	0,115	0,157	-0,281	0,042	-0,671	0,007	-0,871**	0,104	-0,450	0,429	0,238
Peso Espiga	0,649	0,768	-0,253	0,816	0,440	0,611	0,376	0,730	0,255	0,666	-0,256
Peso Grãos / Planta	0,633	0,734	-0,234	0,863	0,405	0,661	0,321	0,766	0,209	0,656	-0,247

\* = significativo a 5%    \*\* = significativo a 1%

**Tabela 13.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho e valores do mesmo teste ajustados pelos caracteres do cultivar de Feijão 2, e as correlações residuais.

Caráter no milho	Prob. não ajustada	Probabilidade de F ajustada e correlações									
		CEN		NV		NGP		PGP		P100	
		Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r
Altura Planta	0,458	0,481	0,234	0,596	0,602	0,412	0,662	0,414	0,478	0,685	-0,219
Altura de inserção da 1ª espiga	0,476	0,587	0,124	0,600	0,512	0,352	0,614	0,497	0,400	0,499	-0,247
No Ramificações Pendão	0,372	0,251	0,487	0,483	0,622	0,355	0,584	0,306	0,553	0,571	-0,165
Compr. Espiga	0,023	0,016	0,612	0,047	0,289	0,047	0,367	0,032	0,388	0,335	-0,240
No. Fileira de Grãos	0,037	0,117	0,146	0,011	0,737	0,010	0,798*	0,013	0,747*	0,032	0,534
Peso Espiga	0,716	0,878	-0,173	0,752	-0,105	0,765	-0,147	0,731	-0,310	0,662	-0,280
Peso Grãos / Planta	0,750	0,899	-0,266	0,750	-0,203	0,786	-0,231	0,750	-0,402	0,646	-0,337

\* = significativo a 5%    \*\* = significativo a 1%

**Tabela 14.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho, valores do mesmo teste, ajustados pelos caracteres do cultivar de Feijão 3 e as correlações residuais.

Caráter no milho	Prob. não ajustada	Probabilidade de F ajustada e correlações									
		CEN		NV		NGP		PGP		P100	
		Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r
Altura Planta	0,669	0,333	0,732*	0,769	0,064	0,361	0,671	0,543	-0,381	0,697	-0,717*
Altura de inserção da 1ª espiga	0,502	0,173	0,758*	0,650	0,027	0,791	0,643	0,438	-0,388	0,283	-0,692
No Ramificações Pendão	0,894	0,843	0,580	0,964	0,084	0,738	0,633	0,913	-0,160	0,403	-0,694
Compr. Espiga	0,128	0,169	-0,333	0,106	0,583	0,189	0,113	0,053	0,678	0,135	0,363
No. Fileira de Grãos	0,0002	0,0007	0,134	0,0007	0,288	0,0007	0,210	0,0003	0,555	0,008	0,108
Peso Espiga	0,667	0,858	0,476	0,200	-0,728*	0,699	-0,162	0,666	-0,241	0,781	-0,396
Peso Grãos / Planta	0,665	0,778	0,501	0,196	-0,730*	0,711	-0,147	0,613	-0,302	0,819	-0,413

\* = significativo a 5%      \*\* = significativo a 1%

**Tabela 15.** Valores das probabilidades do teste F não ajustado para as características analisadas nas variedades de milho, valores do mesmo teste, ajustados pelos caracteres do cultivar de Feijão 4 e as correlações residuais.

Caráter no milho	Prob. não ajustada	Probabilidade do teste F ajustado e correlações									
		CEN		NV		NGP		PGP		P100	
		Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r	Prob. ajust.	r
Altura Planta	0,504	0,587	0,028	0,526	0,349	0,368	0,544	0,388	0,626	0,686	0,668
Altura de inserção da 1ª espiga	0,231	0,304	0,063	0,283	0,290	0,197	0,475	0,264	0,533	0,488	0,641
No Ramificações Pendão	0,526	0,596	-0,077	0,503	0,464	0,361	0,639	0,356	0,734*	0,763	0,714*
Compr. Espiga	0,846	0,879	0,295	0,864	-0,437	0,793	-0,487	0,929	-0,582	0,795	-0,647
No. Fileira de Grãos	0,013	0,004	0,733*	0,009	-0,649	0,023	-0,413	0,030	-0,256	0,028	0,258
Peso Espiga	0,167	0,234	-0,003	0,231	-0,065	0,228	-0,115	0,201	-0,256	0,299	0,014
Peso Grãos / Planta	0,171	0,238	-0,020	0,237	-0,055	0,234	0,103	0,210	-0,237	0,325	0,078

\* = significativo a 5%      \*\* = significativo a 1%

## 5. CONCLUSÕES

1. A interação intergenotípica no milho e feijão foi significativa somente para o peso de 100 sementes no feijão.
2. As técnicas de estudo da interação genótipo x ambiente podem ser aplicadas ao estudo das interações genótipo x genótipo, possibilitando o aumento da compreensão das relações entre os genótipos.
3. De acordo com os resultados, o genótipo de feijão 1 (Corado) foi responsável pela presença de interação significativa no caráter peso de 100 sementes, tendo resposta diferenciada em relação aos diferentes genótipos de milho.
4. As correlações entre as variâncias dentro, para caracteres de milho e de feijão, foram, em geral, não significativas, indicando que o feijão não deve ser usado como planta indicadora para o milho.
5. A variação devido ao erro experimental no milho, foi, em geral, não correlacionada com a variação devido ao erro experimental no feijão, exceto para o caráter número de grãos/planta no feijão, que teve correlação residual altamente significativa com vários caracteres do milho.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ABOU-EL-FITTOUH, H.A.; RAWLINGS, J.O.; MILLER, P.A. Classification of environments to control genotype by environment interactions with an application to cotton. **Crop Science**, v.9, n.2, p.135-140, 1969.

AGUIAR, A.C.F.; MOURA, E.G. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade protéica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.429-435, 2003.

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: USAID/Edgard Blucher, 1971. 381p.

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v.4, n.5, p.503-508, 1964.

ALLEN, J.R.; OBURA, R.K. Yield of corn, cowpea e soybean under different intercropping systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.1005-1009, 1983.

ANDRADE, M.J.B.; OLIVEIRA, L.A.A.; SOUZA FILHO, B.F.; PEREIRA, R.P.; PARENTE, F.C. Efeitos de diferentes populações de plantas na consorciação milho x feijão. Campos, PESAGRO, 3p. (Com. Técn. 49). 1980.

ANNICCHIARICO, P.; PIANO, E. Response of white clover genotypes to intergenotypic and interspecific interference. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.128, p.431-437, 1997.

ARIYO, O.J. Use of additive main effects and multiplicative interaction model to analyse multilocation soybean varietal trials. **Journal of Genetics & Breeding**, v.53, n.2, p.129-134, 1998.

ATLIN, G.N.; BAKER, R.J.; McRAE, K.B.; LU, X. Selection response in subdivided target regions. **Crop Science**, v.40, n.1, p.7-13, 2000.

BASFORD, K.E.; COOPER, M. Genotype x environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.49, n.2, p.153-174, 1998.

BURTON, J.W. Soyabean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Field Crops Research**, v.53, n.1-3, p.171-186, 1997.

CANDAL NETO, J.F.; CUNHA, G.F. Comportamento de cultivares e linhagens de feijão em consórcio com o milho no Espírito Santo. Cariacica, EMCAPA, 5p. (Pesq. Em Andamento n° 27). 1985.

CHANG, J.F.; SHIBLES, R.M. An analysis of competition between intercropped cowpea and maize. **Field Crops Research**, Amsterdã, v.12, p.145-152, 1985.

CHAVES, L.J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C. C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (ed.) **Recursos genéticos & melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 1183p.

COCKERHAM, C.C. Estimation of genetics variance. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Eds.) **Statistical genetics and plant breeding**. Madison: National Academy of Sciences, p.53-94, 1963.

COMSTOCK, R.E.; MOLL, R.H. Genotype-environment interactions. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Eds.) **Statistical genetics and plant breeding**. Washington: National Academy Science Natural Research, 1963. p.164-196. (Publication, 982)

COUSENS, R. A simple model relating yield loss to weed density. **Ann. Appl. Biol.**, n.107, p.239-252, 1985.

CRAWLEY, M.J. **Plant Ecology**. Blackwell Science, Cambridge. 1997.

CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F.L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v.38, n.219, p.422-430, 1991.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1994. 390p.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 567-580, 1989.

DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p. (Série Monografias, 9).

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, p.36-40, 1966.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Harlow: Longman, 1996. 464p.

FASOULAS, A.C.; FASOULA, V.A. Honeycomb selections designs. *In*: JANICK, J. (ed.). **Plant breeding reviews**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

FEHR, W.R. **Principles of cultivar development**. New York: Macmillan, 1987. cap.18, p.247-258.

FERRÉ, F.; DORÉ, T.; DEJOUX, J.F.; MEYNARD, J.M.; GRANDEAU, G. Evolution quantitative de la flore adventice dicotylédone au cours du cycle du colza pour différentes dates de semis et niveaux d'azote disponibles au semis. *In*: **11e Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes**, Dijon, France. 2000.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.14, p.742-754, 1963.

FISCHER, K.S.; PALMER, F.E. Tropical maize. In: GOLDSWORTHY, P.R.; FISCHER, N.M. (Eds.). **The physiology of tropical field crops**. New York: Wiley Interscience, 1984. p.213-248.

FLESCH, R.D.; ESPÍNDOLA, E.A. Cultivares de feijão para consorciação com milho em Santa Catarina. Florianópolis, EMPASC, 9p. (Com. Técn. nº 92). 1985.

FORTIN, M.C.; PIERCE, F.J. Leaf azimuth in strip-intercropped corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.1, p.6-9, 1996.

FRANCIS, C.A.; FLOR, C.A.; TEMPLE, S.P. Adapting varieties for intercropping systems in the tropics. In: PAPANDICK, R.I.; SANCHEZ, P.A.; TRIPLETT, G.B. (Eds.). **Multiple cropping**. Madison: American Society of Agronomy, 1976. p. 235-253.

GALVÃO, E.R.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.S.; ROCHA, V.S.; SCAPIM, C.A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de nove cultivares e linhagens de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Revista Ceres**, v.45, n.259, p.221-231, 1998.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. Identifying mega-environments and targeting genotypes. **Crop Science**, v.37, n.2, p.311-326, 1997.

GENO, L.; GENO, B. **Polyculture Production – Principles, Benefits and Risks of Multiple Cropping Land Management Systems for Australia**. A report for the rural industries research and development corporation. CIRDC Publication No 01/34. 2001.

GHAFFARZADEH, M.; PRÉCHAC, F.G.; CURSE, R.M. Tillage effect on soil water content and corn yield in strip intercropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.6, p.893-899, 1997.

HINSON, K.; HANSON, W.D., 1961. Competition studies in soybeans. **Crop Sci.** 1, 117-123.



HORNER, T.W.; FREY, K.J. Methods of determining natural areas for oat varietal recommendations. **Agronomy Journal**, v.49, n.6, p.313-315, 1957.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Minas Gerais. Censo Agropecuário 1995-1996, Rio de Janeiro, 1998. n.16, p.421.

JOHNSON, H.W.; ROBINSON, J.H.F.; COMSTOCK, R.E. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. **Agronomy Journal**, v.47, n.7, p.314-318, 1955.

KEARSEY, M.J.; POONI, H.S. **The Genetical analysis of quantitative traits**. London: Stanley Thornes Publishers, 1998. cap.12, p.241-245: Genotype by environment interaction.

KRANZ, W.M.; GERAGE, A.C. Cultivo consorciado com o milho. In: IAPAR. **O feijão no Paraná**. Londrina, p.127-43. 1989.

KROPFF, M.J.; SPITTERS, C.J.T. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. **Weed Res.**, n.31, p.97-105, 1991.

KROPFF, M.J.; VAN LAAR, H.H. **Modelling Crop-Weed Interactions**. IRRI, CAB International, Wallingford, 1993.

LAFITTE, H.R.; EDMEADES, G.O.; JOHNSON, E.C. Temperature responses of tropical maize cultivars selected for broad adaptation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.49, p.215-229, 1997.

LI, L.; ZHANG, F.S.; LI, X.L.; CHRISTIE, P.; SUN, J.H.; YANG, S.C.; TANG, C. Interspecific facilitation of nutrient uptakes by intercropped maize and faba bean. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v.65, n.1, p.61-71, 2002.

LI, L.; SUN, J.H.; ZHANG, F.S.; LI, X.L.; RENGEL, Z.; YANG, S.C. Wheat/maize or soybean strip intercropping. II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, p.173-181, 2001

LI, L.; YANG, S.C.; LI, X.L.; ZHANG, F.S.; CHRISTIE, P. Interspecific complementary and competitive interaction between intercropped maize and faba bean. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.212, p.105–114, 1999.

MORGADO, L.B.; RAO, M.R. População de plantas e níveis de água no consórcio milho x caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p.45-55, jan. 1985.

OFORI, F.; STERN, W.R. Cereal-legume intercropping systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.41, p.41-89, 1987.

OKIGHO, B.N. e GREENLAND, D.J. Intercropping systems in tropical África. In: PAPANICK, R.I.; SANCHEZ, P.A.; TRIPLETT, G.B. (Eds.). **Multiple cropping**. Madison: American Society of Agronomy, 1976. p. 201-222.

OLASANTAN, F.O. The effect of soil temperature and moisture content on crop growth and yield of intercropping maize and melon. **Experimental Agriculture**, Cambridge, Great-Britain, v.24, p.67-74, 1988.

OLJACA, S.; CVETKOVIC, R.; KOVACEVIC, D.; VASIC, G.; MOMIROVIC, N. Effect of plant arrangement and irrigation on efficiency of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping system. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, England, v. 135, p. 261-270, 2000.

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E. (coord.). **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Piracicaba: Marprint. Cap. 6, p.202-256, 1978.

PEIXOTO, N.; BRAZ, L.T.; BANZATTO, D.A.; OLIVEIRA, A.P. Adaptabilidade e estabilidade em feijão-vagem de crescimento indeterminado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, Brasil, v. 20, n. 4, p. 616-618, 2002.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística experimental**. 12.ed. Piracicaba: USP, 1987. 467p.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistency in different locations or seasons. **American Potato Journal**, Orono, v.36, p.381-385, 1959.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

ROBERTSON, A. Experimental design on the measurement of heritability and genetic correlations. **Biometrical Genetics**, New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.

ROCHA, M.M.; VELLO, N.A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, v.58, n.1, p.69-81, 1999.

ROCHA, R.B.; MURO-ABAD, J.I.; ARAÚJO, E.F.; CRUZ, C.D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 255-266, 2005.

ROMAGOSA, I.; FOX, P.N. Genotype x environment interaction and adaptation. In: HAYWARD, M.D.; BOSEMARK, N.O.; ROMAGOSA, I. **Plant breeding**: principles and prospects. London: Chapman & Hall, 1993. chap. 20, p. 375-390.

RONCHI, C.P.; TERRA, A.A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

RUSSELL, J. T.; CALDWELL, R. M. Effect of component densities and nitrogen fertilization on efficiency and yield of maize/soyabean intercrop. **Experimental Agriculture**, Cambridge, England, v. 25, p. 529-540, 1989.

SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo por ambiente. In: **SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA**

À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., Piracicaba, 1985. *Anais...* Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.49-50.

SILVA, P.S.L.; SILVA, E.S.; SILVA, P.I.B. Competição entre plantas de milho e sorgo. **Caatinga**, Mossoró-RN, v.15, n.1/2, p.67-71, 2002.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**: with special reference to the biological sciences. New York: McGraw-Hill, 1960. 481 p.

TAI, J. G. C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 2, p. 184-190, 1971.

TOLEDO, J.F.F.; ARIAS, C.A.A.; OLIVEIRA, M.F.; TRILLER, C.; MIRANDA, Z.F.S. Genetical and environmental analyses of yield in six biparental soybean crosses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.9, p.1783-1796, 2000.

TSUBO, M.; WALKER, S. Shade effects on *Phaseolus vulgaris* L. intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. *Journal of Agronomy & Crop Science*, v. 190, p. 168-176, 2004.

VANDERMEER, J.H. The interference production principle: an ecological theory. **Bioscience**, Washington, v.31, p.361-364, 1981.

VANDERMEER, J.H. The interpretation and design of intercrop systems involving environmental modification by one of the components: a theoretical framework. **Biological Agriculture and Horticulture**, Bicester, v.2, p.135-156, 1984.

VAN DER MEER, J.H. Intercropping. In: CARROLL, C.R.; VAN DER MEER, J.H.; ROSSET, P.M. (Eds.). **Agroecology**. New York: McGraw-Hill, 1990. p.481-516.

VAN DER MEER, J.H. **The Ecology of Intercropping**. Cambridge University Press, New York. 1989.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VIEIRA, C. **Estudo monográfico do consórcio milho-feijão no Brasil**. Viçosa, UFV, 1999. 183p.

WILLEY, R.W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, Amsterdam, v.32, p.1-10, 1979.

WILLEY, R.W. Resource use in intercropping systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.17, p.215-231, 1990.

WU, R.L.; MALLEY, D.M.O. Nonlinear genotypic response to macro- and microenvironments. **Theoretical and Applied Genetics**, v.96, n.5, p.669-675, 1998.

ZHANG, F.; LI, L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.248, p.305-312, 2003.

ZOBEL, R.W.; MADISON, J.W.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.388-393, 1988.

ZUO, Y.M., ZHANG, F.S., LI, X.L. e CAO, Y.P. Studies on the improvement in iron nutrition of peanut by intercropping with maize in a calcareous soil. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.220, p.13-25, 2000.

## **7. ANEXO**

