



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA**

---

**HAROLD EDUARDO RUBIANO PERILLA**

**CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA AO DEFICIT  
HÍDRICO EM FEIJOEIRO**

---

Londrina  
2009

**HAROLD EDUARDO RUBIANO PERILLA**

**CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA AO DEFICIT  
HÍDRICO EM FEJÓEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Mauricio Ruas  
Co-Orientadora: Dra. Vania Moda-Cirino

Londrina  
2009

**HAROLD EDUARDO RUBIANO PERILLA**

**CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA AO DEFICIT  
HÍDRICO EM FEJÓEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Arrabal Arias  
Embrapa-Soja

---

Profa. Dra. Valeria Carpentieri Pipolo – UEL

---

Prof. Dr. Paulo Mauricio Ruas – UEL

---

Dr. Nelson da Silva Fonseca Júnior (Suplente)  
IAPAR

---

Prof. Dr. Deonísio Destro (Suplente) – UEL

---

Prof. Dr. Paulo Mauricio Ruas – Orientador  
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 05 de março de 2009.

## **DEDICATÓRIA**

A minha família pelo incentivo, apoio e motivação nos momentos difíceis e pelas continuas alegrias. A Isabella minha filha onde quer que se encontre esta conquista é para você.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que com seus desígnios tem me conduzido a caminhos inesperados e abençoado-me continuamente.

Aos meus orientadores Dra. Vania Moda-Cirino e Prof. Dr. Paulo Mauricio Ruas, pela confiança, amizade, ensinamentos, compreensão e paciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade de crescimento tanto pessoal quanto profissional, assim como de aperfeiçoamento dos meus conhecimentos;

Ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) pela possibilidade de adquirir conhecimentos e permitir a realização da presente pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento a Pesquisa e Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do curso de posgraduação da UEL Dra. Claudette Fátima de Ruas, Dra. Valeria Pipolo Carpentieri, Dr. Deonísio Destro, Dr. Carlos Alberto Arrabal Arias, Dr. Francisco Ferraz de Toledo, Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves; Dr. Osmar Rodrigues Brito e Dr. Amarildo Pasini, pelos conhecimentos transmitidos e o apoio oferecido.

Aos Pesquisadores da área de Melhoramento e Genética do IAPAR Dr. Nelson da Silva Fonseca Júnior, Dr. Juarez Campolina Machado, Sergio José Alves pela sua colaboração na realização deste trabalho, e ao pessoal de apoio técnico do programa de melhoramento genético do feijoeiro de IAPAR pela colaboração e valiosa amizade.

Aos meus colegas do Laboratório de Genética Molecular da UEL: Eduardo Ruas, Luana Alves, Maickel Reickel, Juliana Oliveira e Raquel Barbosa por a sua contínua paciência e amizade.

Aos meus pais, Ana Cristina e José Eurípides aos meus irmãos José Eduardo e Anamaria e a minha filha Isabella, pelo carinho e incentivo.

RUBIANO, Harold Eduardo Perilla. **Controle genético da tolerância à seca em feijoeiro**. 2009. 43p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi verificar o controle genético da tolerância ao estresse hídrico no feijão (*Phaseolus vulgaris*), visando orientar os programas de melhoramento. Quatro cruzamentos com cultivares tolerantes (T) e não-tolerantes (NT) foram utilizados: 1. IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (NT), 2. Pérola (T) x IPR Graúna, 3. IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (NT), 4. IPR Uirapuru (T) x LP 97-28 (NT). Os parentais e as gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> e os retrocruzamentos RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub> e RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub> foram avaliados no campo experimental do Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, Paraná em 2007/2008. o delineamento experimental foi completamente casualizado onde cada planta foi uma repetição. As plantas foram irrigadas por aspersão até o início do estágio R5 (Pré-floração), cessando a irrigação durante 20 dias. Para evitar um possível suprimento de água pela chuva utilizou-se um sistema de cobertura móvel com roldanas deslizantes acoplado ao canteiro em ferro com cobertura lateral de polietileno transparente. Durante o período de estresse hídrico foi verificada a umidade do solo mediante o método gravimétrico a uma profundidade entre 0-60 cms. No estágio de desenvolvimento R9 (Maturação fisiológica) o número de vagens por planta, número de sementes por plantas e a produção total em grãos por planta foi estimada. A análise dos componentes de média e da variância fenotípica apresentaram efeitos genéticos aditivos e de dominância. A herdabilidade no sentido amplo variou entre valores baixos a moderado, apresentando uma forte influência do ambiente no controle genético da tolerância ao estresse hídrico.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*. Tolerância ao estresse hídrico em feijão. Controle genético. Heredabilidade ampla.

RUBIANO, Harold Eduardo Perilla. **Genetic control to drought tolerance in common bean**. 2009. 43p. Dissertation (Master`s degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

### ABSTRACT

The goal of this study was to determine the genetic control of bean (*Phaseolus vulgaris*) drought tolerance with the purpose to give a guide in breeding programs. Four crossing with the cultivars tolerant (T) and non tolerant (NT) to drought were made: 1. IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (NT), 2. Pérola (T) x IPR Graúna (NT), 3. IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (NT) and, 4. IPR Uirapuru (T) x LP 97-28 (NT). The F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> generations and the RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub> backcrosses were analyzed in the experimental field of Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Paraná in 2007/2008. A completely random design analysis of variance in which each plant was a repetition was applied. The plants were irrigated by aspersion until the beginning of the R5 development stage (pre-blooming phase) and stopped for 20 days. To prevent a possible supply of rain water, mobile shelters with a system of sliding sheaves connected to a seedbed iron structure with a lateral cover of transparent polyethylene were used. During the period of water stress the ground humidity was verified by gravimetric method at the depth of 0-60cm. In the R9 development stage (physiological maturation) the number of pod beans per plant, number of seeds per plant and the total grain production per plant were estimated. The analysis of mean components and the phenotypic variance showed a dominant and additive genetic effects. The broad heritability varies from low to moderate values showing strong influence of the environment in the genetic control of drought tolerance.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*. Bean drought tolerance. Genetic control. Broad heritability.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
2.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA .....	10
2.2 FISIOLOGIA DO ESTRESSE HÍDRICO NO FEJJOEIRO .....	11
2.3 RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO NO FEJJOEIRO .....	12
2.4 HERANÇA GENÉTICA DO CARÁTER TOLERÂNCIA A SECA .....	16
<b>3 ARTIGO A – CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA A SECA EM FEJJOEIRO</b> .....	18
3.1 RESUMO E ABSTRACT .....	18
3.2 INTRODUÇÃO .....	20
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
3.5 CONCLUSÕES .....	33
<b>4 CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35
<b>APÊNDICE</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa cultivada principalmente na América, África e Ásia, sendo que na América Latina o Brasil e o México são os principais países produtores e consumidores de feijão. Para o brasileiro, o feijão é um alimento básico e constitui a principal fonte protéica para as classes sociais menos favorecidas.

A produção mundial de feijão no ano de 2006/2007 foi de 19.6 milhões de toneladas destacando-se o Brasil no cenário internacional como o maior produtor, produzindo 3.4 milhões de toneladas (CONAB, 2009). Predições de produção mundial de feijão para o ano de 2020 apontam um forte déficit do produto nas regiões de maior consumo, devido aos poucos excedentes produzidos e à falta de auto-suficiência em muitos países consumidores, como por exemplo, o Brasil que apresenta um déficit anual de 100.000 toneladas. Os principais países exportadores como a China, Myanmar, EUA, Canadá e Argentina poderão não cobrir a falta do grão, em decorrência das dificuldades encontradas para armazenar os grãos por longo período. Diferente de outras culturas alimentícias, o feijão carece de uma reserva mundial suficiente para reverter a escassez prevista para o futuro.

Fatores bióticos e abióticos adversos afetam a produção do feijoeiro. A ocorrência de déficit hídrico e altas temperaturas durante a fase reprodutiva da cultura são os fatores abióticos que ocasionam maiores danos no rendimento. Algumas práticas de manejo podem contribuir para o aumento da produtividade em condições de estresse climático, porém, o maior progresso é conseguido pelo melhoramento genético.

O estado do Paraná é o principal produtor de feijão no Brasil, contribuindo com aproximadamente 26% da produção nacional (CONAB, 2009), porém, o fenômeno climático da seca reduziu a produção em um 11%. O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), órgão oficial de pesquisa do Estado é detentor de um banco de germoplasma com um grande número de acessos, em torno de 8.000 entradas. A utilização desses acessos tem possibilitado o desenvolvimento de novas variedades que tem contribuído de maneira eficaz para a sustentabilidade da cultura no Paraná, garantindo a rentabilidade do pequeno produtor rural, em cujas mãos encontra-se quase que a totalidade da produção de feijão no Estado.

A considerável variabilidade genética presente em grande número de genótipos, tanto para tolerância à seca quanto à alta temperatura, possibilita a obtenção de variedades com características agronômicas desejáveis e mais adaptadas a essas condições de

estresse, o que contribui de maneira eficaz para estabilidade de produção.

O feijoeiro apresenta alguns mecanismos fisiológicos e morfológicos de adaptação a seca os quais podem ser ativados em diferentes estádios de desenvolvimento. O déficit hídrico é mais prejudicial à cultura quando ocorre entre as fases de floração e o desenvolvimento das vagens promovendo drásticas reduções na área foliar e reduzindo os principais componentes de rendimento.

Reduções na produção são conseqüências do maior aborto floral, menor vigor no pólen e aborto de óvulos, com diminuição da polinização e fertilização. Também o vingamento e a formação das vagens são afetados, com uma redução no número e massa de grãos e uma baixa qualidade do produto. Esses danos estão relacionados com a eficiência dos mecanismos de produção e translocação de fotoassimilados para os grãos.

Algumas variedades desenvolvidas pelo IAPAR como IAPAR 81 e IPR Uirapuru vêm sendo utilizadas especificamente nos programas de melhoramento genético do feijoeiro, visando o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes á deficiência hídrica e alta temperatura. O objetivo do presente trabalho é determinar o controle genético do caráter tolerância ao estresse hídrico no feijoeiro.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Os fenômenos climáticos podem originar períodos de estiagem que desencadeiam a seca e em consequência a deficiência hídrica no solo e estresse hídrico nas plantas, este complexo fenômeno influencia os intercâmbios da relação solo-planta-atmosfera (NIX, 1982).

A seca pode ser definida como a deficiência de água causada pela variação decrescente do potencial hídrico no ambiente e das variações em intensidade e tempo destes decréscimos. Loresto (1986) e Tavitas (1995), explicam a seca como um fenômeno meteorológico que origina a deficiência na umidade do solo produzindo sensíveis perdas nas culturas.

Calcula-se que 60% das regiões produtoras de feijão no mundo, estão submetidas à ocorrência de estresse hídrico em algum estágio da cultura, tornando a seca o segundo maior redutor de produtividade de grãos, superado apenas pela ocorrência de doenças (SINGH, 1995; SCHNEIDER et al., 1997 b).

A deficiência hídrica é considerada o principal fator limitante da produtividade das culturas no mundo sendo que práticas de manejo podem contribuir para redução das perdas no rendimento. O uso da irrigação para reduzir o estresse hídrico é limitado em algumas regiões em decorrência da baixa quantidade de água disponível e do alto custo, não permitindo que esta técnica seja utilizada pela maioria dos agricultores que cultivam feijão por serem pequenos produtores e terem acesso restrito aos financiamentos.

Mudanças climáticas ocasionando períodos prolongados de seca já é um fenômeno freqüente e característico de algumas regiões agrícolas, promovendo perdas de produtividade e estimulando o desenvolvimento de tecnologias que permitam as plantas tolerar períodos prolongados de estiagem. Essas tecnologias possibilitarão a manutenção da produção agrícola em níveis que permitam suprir a demanda de alimentos da população mundial em continuo crescimento.

O desenvolvimento de cultivares que apresentem alto potencial de rendimento e tolerância a seca reduz a dependência de irrigação e proporcionam um uso mais eficiente da água, diminuindo os custos de produção e aumentando a estabilidade da cultura.

O conhecimento e a elucidação dos mecanismos relacionados a tolerância a seca é fundamental para o progresso no melhoramento genético, visando o desenvolvimento de cultivares com capacidade para tolerar longos períodos de déficit hídrico sem reduzir a produção.

## **2.2 FISILOGIA DO ESTRESSE HÍDRICO NO FEIJOEIRO**

O feijoeiro é considerado uma espécie bastante sensível ao déficit hídrico severo especialmente quando comparado a outras leguminosas (PIMENTEL et. al. 2002). De maneira geral a exigência hídrica do feijão é de 300 a 500 mm de precipitação durante o ciclo da cultura. De acordo com Procópio et al., (2004) as características morfológicas e fisiológicas determinam as habilidades competitivas pela água do solo nas plantas. O sistema radicular superficial do feijoeiro é uma das causas identificadas como responsável pela baixa recuperação da planta após o estresse hídrico.

Em diferentes estádios da cultura do feijoeiro, a água tem-se mostrado como o recurso mais limitante ao crescimento e à produtividade, diminuindo seu rendimento de acordo com a intensidade e tempo da ocorrência do déficit hídrico, assim como da interação deste com outros fatores que definem o rendimento final (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992).

A deficiência de água na planta causa um estado patológico geral. A fotossíntese diminui pelo fechamento dos estômatos e redução na absorção de CO<sub>2</sub>; bem como pela disfunção dos cloroplastos que se desintegram causando clorose. A respiração se eleva temporariamente e logo abaixa. As enzimas desnaturam, falhando as nitratedutases e cessando a síntese de proteínas. O conteúdo de ácido abscísico (ABA) se eleva e as citocininas baixam; cessando o crescimento e aumentando a precocidade. As mudanças determinam decréscimo no rendimento, mesmo que a condição de estresse não seja muito severa. A floração e o enchimento de grãos são estádios críticos, e uma seca –nessa fase– ocasiona perdas significativas no rendimento (ROJAS, 2003).

Na etapa vegetativa o efeito do estresse hídrico no crescimento do feijoeiro é mínimo (PEÑA-CABRIALES; CASTELLANOS, 1993), enquanto na fase reprodutiva, que compreende a pré-floração, floração e o enchimento de vagens, a planta é muito sensível à falta de água no solo (CALVACHE; REICHARDT, 1996; GOMES et al., 2000; PIMENTEL, 2001). O efeito da seca na planta também reflete na produtividade do feijoeiro, devido à baixa

taxa de polinização e pelo aborto de óvulos, causando abscisão dos órgãos reprodutivos (KRAMER; BOYER, 1995).

As reduções na área foliar são drásticas e incidem nos principais componentes de rendimento de primeira ordem, tais como o número de vagens, massa das sementes e número de sementes por vagem (SINGH, 1995; RAMIREZ-VALLEJO; KELLY, 1998; PIMENTEL et al., 2001; MOLINA, et al., 2001).

O déficit hídrico reduz os principais componentes de rendimento da planta de feijão, afetando tanto a qualidade quanto a quantidade de grãos, mesmo quando submetidos a curto período de escassez de água (RAMIREZ-VALLEJO; KELLY, 1998, ROSALES-SERNA et al., 2004). Weaver et al. (1984) avaliaram que uma diminuição do potencial da água no solo reduz o número de vagens e sementes por planta e a produção total de grãos por planta mas o número de sementes por vagem e o peso de 100 sementes não foi reduzido.

Existe a possibilidade de que muitos danos mencionados não sejam ocasionados diretamente pelo estresse hídrico, de fato alguns deles encontram-se associados a altas temperaturas como a abscisão das flores e o baixo vingamento de vagens e sementes em consequência da falta de polinização ou fertilização (KONSENS et al. 1991). O grão de pólen é considerado mais sensível a alta temperatura do que as estruturas reprodutivas femininas (MONTERROSO; WIEN, 1990). Altas temperaturas ainda em presença de umidade relativa do solo são responsáveis do não vingamento de vagens e sementes, ocasionando diminuição na produção da planta. (KONSENS et al., 1991).

### **2.3 RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO NO FEJÓEIRO**

A resistência das plantas à deficiência hídrica tem sido classificada em três mecanismos: escape, evasão e estratégias de tolerância (MITRA, 2001). Nenhum desses mecanismos é exclusivo e na prática as plantas podem combinar uma série de tipos de respostas. O escape é o mecanismo em que a planta exhibe um alto grau de plasticidade, sendo capaz de completar seu ciclo vital antes que o déficit de água ocorra. Isto se aplica às variedades precoces que por seu rápido desenvolvimento, permite que a planta acelere seu mecanismo de maturação e com a utilização mais eficiente da água disponível pode sobreviver melhor que aquelas de ciclo tardio (ACOSTA et al., 1989).

A evasão é a capacidade da planta para evitar a seca por duas vias

importantes: mantendo o potencial de água tão alto quanto possível ou tolerando baixo potencial de água nos tecidos. O desenvolvimento de uma série de características adaptativas envolvidas com a diminuição da perda de água e a máxima absorção evita a desidratação dos tecidos. A perda de água é minimizada pelo rápido fechamento dos estômatos e pela redução da absorção da luz pelo enrolamento das folhas, por uma densa camada de pelos que aumenta a refletância, pela alteração do ângulo foliar e ainda a redução no tamanho das folhas que diminui a superfície evaporativa ajudado pela cerosidade das cutículas das mesmas. O desenvolvimento radicular mais profundo e uma maior densidade de raízes permitem à planta explorar fontes de água. Alguns desses mecanismos de resistência a seca podem trazer desvantagens. Uma variedade de ciclo precoce geralmente apresenta um potencial produtivo menor quando comparada com aquela de ciclo normal. Os mecanismos relacionados à redução de perda de água como fechamento estomático e redução da área foliar, diminuem a assimilação de CO<sub>2</sub> ocasionando uma queda na taxa fotossintética. Portanto, a adaptação da planta à deficiência hídrica deve combinar mecanismos que permitam manter a produtividade.

O terceiro mecanismo está relacionado com as estratégias de tolerância sendo resultante das interações fisiológicas complexas que envolvem processos de osmorregulação, consistente na habilidade do citoplasma das células para sobreviver e funcionar normalmente ainda que os tecidos da planta desidratem ou tenham potenciais de água reduzidos para suportar o déficit de pressão e difusão da mesma.

Outros autores como Caraballo (2006) e Bhattachargee et. al (1971), mencionam a recuperação das plantas como mais um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico. A recuperação consiste no reinício das atividades fisiológicas depois de um período de carência de umidade do solo. A velocidade com que se apresenta está relacionada ao maior conteúdo de água ou potencial hídrico. A velocidade de recuperação é proporcional ao potencial de água nas vagens e nas folhas; e esta recuperação pode acontecer em qualquer dos estádios fenológicos (CHANG et al, 1983).

Azcón-Bieto (1993) distingue entre tolerância à seca, que inclui mecanismos anatômicos e fisiológicos para evitar a desidratação dos tecidos, e a tolerância ao estresse hídrico, que é a capacidade real das células de subsistir no déficit de água. As plantas com tolerância ao estresse hídrico têm células pequenas com alto potencial osmótico; e são capazes de ajustá-lo mantendo os estômatos abertos para evitar redução na fotossíntese.

Em feijoeiro é comum utilizar o termo tolerância para se referir a capacidade da planta a enfrentar o estresse hídrico; porém, diferentes autores descrevem esta característica utilizando o termo resistência (MIRANDA et al., 1984; CIAT, 1985b;

GUIMARÃES; ZIMMERMAN, 1985).

Para Hall (1993) a tolerância deve ser considerada como “a redução na produtividade relativa de um genótipo comparado a outros genótipos, que são submetidos ao mesmo déficit hídrico”. A resistência refere-se à capacidade da planta para sobreviver a condições adversas, portanto é relativa e não deve ser mensurada em função da produtividade de grãos de um genótipo comparado ao outro, onde há possibilidade dos valores serem confundidos com o potencial produtivo dos genótipos (BLUM, 1997).

A produção de biomassa aérea permite obter altos rendimentos de grão, pois esta associada diretamente com acumulação de matéria seca na semente (ROSALES-SERNA et al., 2004; SAXENA et al., 1990). Sob condições de estresse hídrico o índice de área foliar e a taxa de crescimento no feijoeiro diminuem (GOMES et al., 2000) .

Estudos de distribuição de biomassa no feijoeiro, sob seca, sugerem que as variedades tolerantes são mais eficientes para distribuir fotoassimilados às sementes durante o enchimento das vagens (SAMPER, 1984). Em condições ambientais pouco favoráveis, as variedades com maior estabilidade no rendimento através dos anos e locais, modificam o número de dias de início de floração e da maturidade (PAJARITO-RAVELERO et al., 1988; ACOSTA-GALLEGOS; WHITE, 1995). A tolerância à seca esta associada à maior duração da área foliar e menor redução da biomassa de ramos ao final do ciclo, sob sequeiro (GOMES et al., 2000).

O conteúdo foliar de N e K esta relacionado com a tolerância à deficiência hídrica assim como a relação entre o comprimento e o peso seco unitário da folha. Os genótipos de feijão geneticamente adaptados ao estresse hídrico, podem mobilizar o K foliar e o total dos carboidratos não estruturais das folhas velhas para as folhas jovens, para sementes em desenvolvimento e para o enchimento de vagens (GUZMÁN, 2000).

A capacidade de tolerar uma grande perda da água e a capacidade de se recuperar depois de uma seca intensa ocorrida num curto período, deve-se a presença de “genes de desidratação” que provavelmente são ativados pelo ácido abscísico (ABA), cuja concentração eleva-se em condições de estresse hídrico. A tolerância à deficiência hídrica é o resultado da expressão de diversos genes responsáveis pela ação e interação dos diferentes caracteres morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. Sob efeitos de déficit hídrico as plantas tentam manter o seu índice de água, acumulando solutos compatíveis como a prolina, trealose, polióis, glicina, betaína e poliaminas. Os solutos compatíveis são moléculas não tóxicas que desempenham um papel de manutenção do turgor e a estabilização da estrutura de proteínas da célula (SERRAJ; SINCLAIR, 2002).

Alguns solutos compatíveis como os polióis cíclicos (ciclitóis) são acumulados nos cloroplastos e se relacionam com a assimilação de CO<sub>2</sub> sob condições de déficit hídrico (SHEVELEVA et al., 1997). A prolina um dos osmolitos mais estudado encontra-se distribuído nas plantas e outros organismos; seu papel no ajuste osmótico relaciona-se à integridade e proteção da membrana plasmática, à dissipação ou redução de energia, como fonte de carbono e nitrogênio e eliminação de radicais hidroxil (MENESES et al., 2006).

A glicina betaína parece ser um determinante crítico da tolerância ao estresse, por ser requerida para proteger a planta, mantendo o equilíbrio da água entre célula vegetal e o ambiente e estabilizando as macromoléculas (RONTEIN et al., 2002). Seu acúmulo é induzido sob condições do estresse e essa concentração é correlacionada com o nível da tolerância (RHODES; HANSON, 1993). Outras vias envolvidas na adaptação ao estresse hídrico se relacionam com as proteínas de proteção tais como as aquaporinas, as proteínas de choque térmico, proteases e inibidores de proteínas e as proteínas abundantes na embriogênese tardia (Late embryogenesis abundant - LEA).

Outro tipo de proteínas participantes nos mecanismos de recuperação e tolerância das plantas são as proteínas intrínsecas das membranas (MIPs) que atuam como canais facilitando a difusão da água através das membranas da célula (MAUREL; CHRISPEELS, 2001) e desta maneira ajudam no controle dinâmico da permeabilidade da água na planta, células e órgãos. As aquaporinas, por exemplo, exercem esta função durante o desenvolvimento celular em resposta ao estresse produzido em alguns casos por déficit hídrico (MAUREL, 1997). As proteínas LEA acumulam-se em concentrações elevadas em embriões de plantas durante o último estágio de desenvolvimento das sementes antes da desidratação (SOULAGES et al., 2002). Os genes que codificam as proteínas LEA são consistentemente transcritos durante a seca, sendo similares a muitos genes que se expressam em tecidos vegetativos de plantas expostas ao estresse hídrico.

O ácido abscísico (ABA), esta envolvido em variadas respostas ao estresse, por exemplo, no desenvolvimento da parede celular, na dormência e na germinação de sementes. O estresse hídrico serve como um iniciador do acúmulo de ABA, ativando genes que são recrutados para funcionar como ativadores de osmoprotetores. Estudos realizados por Yamaguchi-Shinozaki (1994) observaram que grande número de genes respondem ao tratamento com ABA exógeno em condições de estresse hídrico.

## 2.4 HERANÇA GENÉTICA DA TOLERÂNCIA A SECA

A tolerância do feijoeiro ao déficit hídrico é um caráter complexo, de regulação multigênica, muito influenciado pelo ambiente e dependente de várias características fisiológicas e morfológicas que resultam em grande variação dos efeitos da planta e alta variabilidade na sua resposta (PASSIOURA, 2002; RAMIREZ-VALLEJO; KELLY, 1998).

A herança quantitativa com grande influência dos efeitos ambientais foi relacionada por Dickson e Petzoldt (1989). Por outro lado estudos realizados por Shonnard e Gepts (1994) detectaram a presença de efeitos citoplasmáticos e a interação dos genes citoplasmáticos com os nucleares. Os efeitos aditivos significativos indicaram a possibilidade de ganho genético por meio de seleção.

Com a finalidade de identificar genótipos tolerantes ao déficit hídrico, tem-se utilizado parâmetros morfológicos, fisiológicos e químicos, associados à tolerância que possibilitem o entendimento dos efeitos da falta de água na planta e seus mecanismos de adaptação, assim como a determinação dos caracteres fisiológicos indicadores de tolerância (SINGH, 1995).

Para a avaliação de genótipos de feijão quanto à reação à deficiência hídrica, diversos autores recomendam que sejam utilizados parâmetros correlacionados com o rendimento de grãos, por ser a característica mais importante economicamente e por seus componentes serem de fácil mensuração (BLUM, 1997; MOLINA et al., 2001). Outra característica reportada como importante para tolerância à deficiência hídrica é a capacidade da cultivar em translocar fotoassimilados. Cultivares com tolerância ao estresse hídrico são muito eficientes na produção e translocação de fotoassimilados para a semente, sendo que o caráter rendimento de grãos é muito influenciado pelo acúmulo de fotoassimilados na planta. (ROSALES-SERNA et al., 2004).

Ao existir uma variabilidade na adaptação à seca entre espécies e dentro da espécie, deve-se avaliar o comportamento de diferentes materiais genéticos, em condições de seca, para a recomendação de cultivo ou com o objetivo de desenvolver materiais mais tolerantes à deficiência hídrica (BLUM, 1997).

O desenvolvimento de variedades melhoradas à seca é lento; a forte interação genótipo-ambiente impede rápidos avanços e os resultados obtidos durante um ano geralmente são diferentes aos do ano seguinte; já que a intensidade do dano depende da

duração, intensidade, frequência e época de ocorrência. Cruzamentos realizados pelo CIAT conseguiram identificar famílias de genes tolerantes à seca. (BEEBE et al., 2008).

Independente da magnitude do estresse hídrico, genótipos de feijoeiro respondem de maneira diferenciada ao déficit de água no solo durante o período de floração (SCHNEIDER, 1997b; MOLINA et al., 2001; TERÁN; SINGH, 2002).

A cultivar IPR Uirapuru, desenvolvida pelo IAPAR e recomendada para cultivo, tem-se comportado como uma das cultivares do grupo comercial preto mais promissora para tolerância ao estresse hídrico (MODA-CIRINO et al., 2001; MOLINA, et al., 2001).

## ARTIGO A: CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA À SECA EM FEIJOEIRO

### 3.1 Resumo

O objetivo desta pesquisa foi verificar o controle genético da tolerância ao estresse hídrico no feijão (*Phaseolus vulgaris*), visando orientar os programas de melhoramento. Quatro cruzamentos com cultivares tolerantes (T) e não-tolerantes (NT) foram utilizados: 1. IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (NT), 2. Pérola (T) x IPR Graúna, 3. IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (NT), 4. IPR Uirapuru (T) x LP 97-28 (NT). Os parentais e as gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> e os retrocruzamentos RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub> e RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub> foram avaliados no campo experimental do Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, Paraná em 2007/2008. O delineamento experimental foi completamente casualizado onde cada planta foi uma repetição. As plantas foram irrigadas por aspersão até o início do estágio R<sub>5</sub> (Pré-floração), cessando a irrigação durante 20 dias. Para evitar um possível suprimento de água pela chuva utilizou-se um sistema de cobertura móvel com roldanas deslizantes acoplado ao canteiro em ferro com cobertura lateral de polietileno transparente. Durante o período de estresse hídrico foi verificada a umidade do solo mediante o método gravimétrico a uma profundidade entre 0-60 cms. No estágio de desenvolvimento R<sub>9</sub> (Maturação fisiológica) o número de vagens por planta, número de sementes por plantas e a produção total em grãos por planta foi estimada. A análise dos componentes de média e da variância fenotípica apresentaram efeitos genéticos aditivos e de dominância. A herdabilidade no sentido amplo variou entre valores baixos a moderado, apresentando uma forte influência do ambiente no controle genético da tolerância ao estresse hídrico.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*. Tolerância ao estresse hídrico em feijão. Controle genético. Heredabilidade ampla.

## **ARTIGO A : GENETIC CONTROL TO DROUGHT TOLERANCE IN COMMON BEAN.**

### **3.1 Abstract**

The goal of this study was to determine the genetic control of bean (*Phaseolus vulgaris*) drought tolerance with the purpose to give a guide in breeding programs. Four crossing with the cultivars tolerant (T) and non tolerant (NT) to drought were made: 1. IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (NT), 2. Pérola (T) x IPR Graúna (NT), 3. IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (NT) and, 4. IPR Uirapuru (T) x LP 97-28 (NT). The F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> generations and the RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub> backcrosses were analyzed in the experimental field of Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Paraná in 2007/2008. A completely random design analysis of variance in which each plant was a repetition was applied. The plants were irrigated by aspersion until the beginning of the R<sub>5</sub> development stage (pre-blooming phase) and stopped for 20 days. To prevent a possible supply of rain water, mobile shelters with a system of sliding sheaves connected to a seedbed iron structure with a lateral cover of transparent polyethylene were used. During the period of water stress the ground humidity was verified by gravimetric method at the depth of 0-60cm. In the R<sub>9</sub> development stage (physiological maturation) the number of pod beans per plant, number of seeds per plant and the total grain production per plant were estimated. The analysis of mean components and the phenotypic variance showed a dominant and additive genetic effects. The broad heritability varies from low to moderate values showing strong influence of the environment in the genetic control of drought tolerance.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*. Bean drought tolerance. Genetic control. Broad heritability.

### 3.2 INTRODUÇÃO

O déficit hídrico e a ocorrência de altas temperaturas durante a fase reprodutiva são os maiores responsáveis pela redução do rendimento no feijoeiro. Das regiões produtoras de feijão no mundo, 60% estão submetidas à ocorrência de estresse hídrico em algum estágio da cultura (SINGH, 1995; SCHNEIDER et al., 1997 a).

Para a avaliação de genótipos de feijão quanto à reação à deficiência hídrica, são utilizados parâmetros correlacionados com o rendimento de grãos (BLUM, 1997; MOLINA et al., 2001). A ocorrência da deficiência hídrica é mais prejudicial ao feijoeiro nos estádios reprodutivos entre as fases de floração (R6) e de desenvolvimento das vagens (R8), promovendo drásticas reduções na área foliar e reduzindo os principais componentes de rendimento de primeira ordem, tais como o número de vagens, massa das sementes e número de sementes por vagem (RAMIREZ-VALLEJO e KELLY, 1998).

A tolerância do feijoeiro ao déficit hídrico é um caráter complexo, de regulação multigênica, muito influenciado pelo ambiente e dependente de várias características fisiológicas e morfológicas que resultam em grande variação dos efeitos da planta e alta variabilidade na sua resposta (PASSIOURA, 2002; RAMIREZ-VALLEJO e KELLY, 1998). Os valores estimados da herdabilidade para produção de grãos de feijão sob condições de estresse hídrico tem sido baixo a moderado variando de 0,19 a 0,59 (SCHNEIDER et al., 1997 a)

A cultivar IPR Uirapuru, desenvolvida pelo IAPAR e recomendada para cultivo desde o ano 2000; tem-se comportado como uma das cultivares do grupo comercial preto mais tolerante ao estresse hídrico (MODA-CIRINO et al., 2001; MOLINA, et al., 2001).

O entendimento dos mecanismos de herança genética envolvidos na tolerância ao estresse hídrico possibilitará a escolha de métodos de melhoramento mais adequados para incorporação de genes de tolerância em linhagens promissoras visando a obtenção de cultivares mais produtivas e estáveis.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o controle genético da tolerância à deficiência hídrica em quatro cruzamentos com genótipos contrastantes quanto a esse fator abiótico.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os genótipos utilizados no presente estudo incluíram os genitores ( $P_1$  e  $P_2$ ) e as gerações ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_1P_1F_1$  e  $RC_1P_2F_1$ ) derivadas dos cruzamentos efetuados entre cultivares ou linhagem de feijoeiro contrastantes para tolerância ao estresse hídrico (MOLINA et al., 2001, AGUIAR et al., 2008). As principais características das cultivares e linhagem utilizadas como genitores no presente estudo são apresentadas na Tabela 3.1. No ano 2005 todos os genitores foram semeados em casa de vegetação do IAPAR localizado em Londrina – PR, situada na latitude de  $23^{\circ} 30' S$ , longitude de  $51^{\circ} 32' W$  e altitude de 585 m. visando a obtenção da geração  $F_1$ . Os seguintes cruzamentos foram realizados: 1. IPR Uirapuru x IPR Graúna, 2. Pérola X IPR Graúna, 3. IAPAR 81 x IPR Graúna, 4. IPR Uirapuru x LP 97-28. Os cruzamentos foram realizados manualmente utilizando-se a metodologia descrita por Bliss (1980). As sementes  $F_1$  obtidas de cada cruzamento foram semeadas em casa de vegetação do IAPAR para obtenção da geração  $F_2$  e das gerações dos retrocruzamentos ( $RC_1P_1F_1$  e  $RC_1P_2F_1$ ), sendo que as plantas  $F_1$  foram utilizadas como genitor masculino.

Na safra das águas de 2007/2008, com semeadura efetuada no dia 13 de setembro de 2008, uma amostra de 25 sementes de cada genitor ( $P_1$  e  $P_2$ ), 30 sementes da geração  $F_1$ , 250 sementes da geração  $F_2$  e 40 sementes das gerações de retrocruzamentos ( $RC_1P_1F_1$  e  $RC_1P_2F_1$ ), de cada cruzamento foram semeadas na Estação Experimental do IAPAR em Londrina-PR, utilizando-se um delineamento experimental inteiramente casualizado onde cada planta foi considerada uma repetição.

O experimento foi instalado em três canteiros com solo classificado como Latossolo Roxo distrófico, cujas características físico-líticas foram descritas por Faria e Madramootoo (1996). Cada canteiro foi construído com laterais de concreto com dimensões de 100m de comprimento por 5m de largura e 1m de profundidade. Na semeadura realizou-se a adubação de base de acordo com a análise química do solo, aplicando-se 300 kg por hectare de adubo formulado NPK 04-30-10. Posteriormente, aos 20 dias após a emergência (DAE) das plantas, adubou-se com nitrogênio em cobertura, aplicando-se 200 kg/ha de sulfato de amônia.

Tabela 3.1 Cultivares e linhagem utilizadas como genitores no estudo do controle genético da tolerância ao estresse hídrico, com a respectiva origem, cor de tegumento das sementes, hábito de crescimento e reação ao déficit hídrico.

Cultivares	Origem	Cor do tegumento da semente	Hábito de crescimento <sup>1</sup>	Reação ao déficit hídrico <sup>2</sup>
IPR Uirapuru	IAPAR	Preto	Tipo II	Tolerante
IPR Graúna Pérola	IAPAR	Preto	Tipo II	Suscetível
	EMBRAPA	Creme com listras marrom	Tipo II	Tolerante
IAPAR 81	IAPAR	Creme com listras marrom	Tipo II	Tolerante
LP 97-28	IAPAR	Preto	Tipo II	Suscetível

<sup>1</sup> Hábito de crescimento tipo II: plantas eretas com crescimento indeterminado. <sup>2</sup> Reação a seca determinada por Molina et. al., (2001) e Aguiar et al., (2008).

A ocorrência de plantas invasoras, pragas e doenças foram controladas com a utilização de produtos químicos registrados para a cultura. Todas as parcelas foram irrigadas por aspersão até o início do estágio de desenvolvimento R5 (pré-floração) quando cessou a irrigação por 20 dias. Após o período de déficit hídrico todas as parcelas voltaram a ser irrigadas.

Para evitar o fornecimento de água durante o período de déficit hídrico utilizaram-se abrigos móveis com sistema de roldanas deslizantes sobre trilhos de ferro, acoplados às laterais dos canteiros. Os abrigos foram construídos em ferro, com cobertura e laterais de polietileno transparente, com dimensões de 10m de comprimento por 5m de largura e 2,8m de altura.

Durante o período de déficit hídrico determinou-se a umidade do solo utilizando-se o método gravimétrico nas profundidades de 0-10 cm, 10-25cm, 25-40 cm, 40-60 cm. As determinações realizaram-se a cada cinco dias. A partir desses dados, foi calculado o armazenamento de água, no perfil do solo de 0-60 cm (FARIA e MADRAMOOTOO, 1996).

No estágio de maturação fisiológica (R9) as plantas foram colhidas individualmente e avaliadas as seguintes características: número de vagens por plantas (VP), número de sementes por planta (NS) e peso de grãos por planta (g) (RP).

Após da obtenção dos dados efetuou-se uma distribuição da frequência observada de plantas para as características avaliadas (VP, NS e RP), calculando-se médias e variâncias para cada genitor e gerações derivadas de cada cruzamento. Um teste de distribuição de frequência de Qui-quadrado, descrito por STEEL e TORRIE (1960), foi utilizado para testar a hipótese de herança oligogênica do caráter avaliado. Em decorrência da não identificação de classes fenotípicas distintas para os caracteres avaliados, as estimativas dos efeitos genéticos envolvidos em cada cruzamento foram obtidas mediante as estimativas dos componentes das médias e dos componentes genético e ambiental da variância fenotípica. Utilizou-se o método de análise dos quadrados mínimos ponderados (CAVALI, 1952; HAYMAN, 1960; e MATHER e JINKS, 1982).

Baseando-se nos componentes genéticos e ambiental da variância fenotípica foi calculada a herdabilidade no sentido amplo e restrito ( $h^2_a$  e  $h^2_r$ ), heterose (h), grau médio de dominância (gmd), número de genes envolvidos e ganho de seleção. (ALLARD et al., 1964; MATZINGER, 1963; FALCONER, 1981; POONI, 1976 e TOLEDO et al., 1984). O programa computacional GENES foi usado para as estimativas de os parâmetros genéticos estudados (CRUZ, 2001).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Acosta-Gallegos e Kohashi-Shibata (1989), o feijoeiro não tem a sua produção afetada quando a água disponível no solo é mantida acima de 50% de seu valor. Os resultados obtidos no presente estudo demonstram a ocorrência efetiva do déficit hídrico durante o período de supressão de água, uma vez que os valores sempre ficaram abaixo de 50% da água disponível, o qual afetou o desenvolvimento das plantas.

A distribuição de frequência para o caráter número de vagens (Tabela 3.2) para os quatro cruzamentos avaliados tanto para os genitores como para as gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_1P_1F_1$ ,  $RC_1P_2F_1$  mostra que houve baixa produção de vagens. Tal resultado é consequência do estresse hídrico, uma vez que a deficiência de água no estágio de desenvolvimento reprodutivo ocasiona uma queda no vingamento de vagens (KRAMER e BOYER, 1995).

O resultado do número médio de vagens por planta para o cruzamento IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (S), mostra uma superioridade na média das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , e dos retrocruzamentos comparado as médias dos genitores. Esse resultado indica uma provável combinação de efeitos aditivos e dominância no caráter número de vagens em plantas submetidas ao estresse hídrico. A cultivar IPR Graúna apresentou a menor média confirmando a sua reação de suscetibilidade à deficiência hídrica (Tabela 3.2). Para o cruzamento Pérola (T) x IPR Graúna (S) os genitores foram inferiores as gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_1P_1F_1$  e  $RC_1P_2F_1$  também indicando a presença de efeitos aditivos e dominância (Tabela 3.2). No cruzamento IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (S), a geração  $F_2$  mostrou-se superior aos genitores e às demais gerações com exceção ao  $RC_1P_1F_1$  (Tabela 3.2). O cruzamento IPR Uirapurú (T) x LP 97-28 (S), apresentou na média as melhores produções de vagens por planta, quando comparado aos outros três cruzamentos. A frequência das médias nas diferentes gerações permite inferir que existe efeito aditivo devido à superioridade da média do pai IPR Uirapurú (Tabela 3.2).

A análise da tabela de frequência para o número de sementes por planta (Tabela 3.3) apresentou valores médios baixos, o que já era esperado em decorrência da seca afetar a taxa de polinização, bem como ocasionar aborto de óvulos, reduzindo dessa forma o número de sementes por planta (KRAMER e BOYLE, 1995). O déficit hídrico reduz os principais componentes de rendimento do feijoeiro, afetando tanto a quantidade como a qualidade dos grãos. Os resultados obtidos são coerentes com outros estudos realizados onde foram observados que a diminuição do potencial da água do solo reduziu não somente o número de vagens por planta, mas também o número e peso dessas sementes (KELLY, 1998, ROSALES-SERNA et al., 2004).

Tabela 3.2. Frequência observada de plantas das gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub>, para os cruzamentos IPR Uirapuru x IPR Graúna, Pérola x IPR Graúna, IAPAR 81 x IPR Graúna, IPR Uirapuru x LP 97-28 para o número de vagens por planta (NV), com o número de plantas (n), média de número de vagens por planta (X), variância (s<sup>2</sup>) em experimento conduzido em Londrina-PR, na safra das águas 2007/2008 sob condições de estresse hídrico durante o estágio reprodutivo (R5 a R6).

<b>IPR Uirapuru x IPR Graúna</b>										
Numero de Vagem/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
										n $\chi$ s <sup>2</sup>
IPR Uirapuru (P1)	6	4	1							11    1,5    0,47
IPR Graúna (P2)	7	1								8    1,1    0,12
F1	8	3		1	1					13    1,8    1,69
F2	60	31	16	6	5					118    1,9    1,21
RC1P1F1	8	3	5		3					19    2,3    2,11
RC1P2F1	6	5	3							14    1,8    0,64
<b>Pérola x IPR Graúna</b>										
Numero de Vagem/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
										n $\chi$ s <sup>2</sup>
Pérola (P1)	7	2	1							10    1,4    0,49
IPR Graúna (P2)	7	1								8    1,1    0,13
F1	4	8	2	1			2			17    2,6    3,38
F2	59	38	16	9	5	3	1	1		132    2,1    2,01
RC1P1F1	4	8	4	3	1	1				21    2,6    1,85
RC1P2F1	11	3		1	1					16    1,6    1,45
<b>IAPAR 81 x IPR Graúna</b>										
Numero de Vagem/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
										n $\chi$ s <sup>2</sup>
IAPAR 81 (P1)	7	6	1					1		15    2    3,14
IPR Graúna (P2)	2	6	1							9    1,9    0,36
F1	6	4	4	2						16    2,1    1,18
F2	52	38	24	21	12	1	1			149    2,4    1,93
RC1P1F1	5	8	4	4	2	1				24    2,7    2,04
RC1P2F1	13	5	5	4	3					30    2,3    2,01
<b>LP 97-28 x IPR Uirapuru</b>										
Numero de Vagem/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
										n $\chi$ s <sup>2</sup>
IPR Uirapuru (P1)	2	4	2	3	2	3	2		1	19    4,2    5,14
LP 97-28 (P2)	2	7	2	2	1					14    2,5    1,35
F1		2		3						5    3,2    1,2
F2	17	21	24	21	11	2	3	1		100    3,1    2,46
RC1P1F1	3	5	2	3	2	1		1		17    3,2    3,82
RC1P2F1	3	1	1	1	1		1			8    3    4,86

Analisando a Tabela 3.3 observa-se que para o cruzamento IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (S), a frequência das médias para o número de sementes por plantas apresentou efeito aditivo para a F<sub>1</sub>, uma vez que a média do F<sub>1</sub> foi inferior à média dos pais.

As gerações F<sub>2</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub> e RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub>, apresentaram melhor desempenho frente à média do pai superior, nesse caso a IPR Uirapuru (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 Frequência observada de plantas das gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub>, para os cruzamentos IPR Uirapuru x IPR Graúna, Perola x IPR Graúna, IAPAR 81 x IPR Graúna, IPR Uirapuru x LP 97-28 para o número de sementes por planta (NS), com o número de plantas (n), média de número de sementes por planta (X), variância (s<sup>2</sup>) em experimento conduzido em Londrina-PR, na safra das águas 2007/2008 sob condições de estresse hídrico durante o estágio reprodutivo (R5 a R6).

IPR Uirapuru x IPR Graúna																														
Número de sementes/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>		
IPR Uirapuru (P1)		4	3	2	1	1																					11	3,27	1,82	
IPR Graúna (P2)	3	3	1			1																					8	2,25	2,79	
F1	5	2	1	2		1	1	1																			13	3,15	6,14	
F2	20	27	17	16	8	11	7	1	4	3	1		3														118	4,30	8,11	
RC1P1F1	2	1	1	1	5	1		2	1		1	1	1	2													19	9,26	25,07	
RC1P2F1	2	3	2	3	1	2		1																			14	3,64	4,25	
Perola x IPR Graúna																														
Número de sementes/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>		
Pérola (P1)	2	3	3	1	1																						10	2,6	1,60	
IPR Graúna (P2)	3	3	1			1																					8	2,25	2,79	
F1	2	1	1	1	2	1		2	1	2		1		1													17	6,35	14,37	
F2	28	26	15	12	16	11	3	8	4	1	2	2	2	1	1												132	4,2	10,69	
RC1P1F1		4	2	2	3	1	1	3	2	1		1					1										21	6,38	18,45	
RC1P2F1	3	3	4	1	2	2						1															16	3,69	7,70	
IAPAR 81 x IPR Graúna																														
Número de sementes/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>		
IAPAR 81(P1)		3	1	2	2					1																	9	4,11	6,36	
IPR Graúna (P2)	2	3	1	3	4	1					1																15	4,00	6,29	
F1	2	4	1	1	1	2	2			1	1	1															16	5,06	12,86	
F2	26	24	23	9	7	13	15	8	8	5	3	3	3	1	1	1											149	4,87	12,64	
RC1P1F1		4	3	3	6	2	1	2		1	1	1															24	5,29	7,95	
RC1P2F1	3	7	2	2	1	7	1	1	4				2														30	5,17	11,45	
IPR Uirapuru x LP-28																														
Número de sementes/planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	25	28	29	n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>		
IPR Uirapuru (P1)	1	1			1	3		2	3	1	1		1														14	7,35	10,86	
LP 97-28 (P2)	2	3	1	2	1	2	1		1	1		1	1	1		1	1										19	6,15	21,59	
F1		1		1				1		1						1											5	8,00	30,00	
F2	1	6	5	7	4	6	2	8	6	7	5	5	6	5	6	1	3	5	3	4	1	1	1	1	1		100	6,83	18,63	
RC1P1F1		2	1	1	1	1		3			2	1				3		1								1	17	8,58	27,27	
RC1P2F1	1	1		1					1		1			1	1						1						8	5,13	22,33	

Para o cruzamento Pérola (T) x IPR Graúna (S), analisando a frequência do número médio de sementes por planta observou-se um efeito de sobredominância, onde as médias de todas as gerações estudadas superaram as médias dos genitores (Tabela 3.3). Para o cruzamento IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (S), a frequência das médias também apresentou efeito de dominância para todas as gerações avaliadas (Tabela 3.3).

As médias para o número de sementes por planta no cruzamento IPR Uirapuru x LP 97-28 foram da mesma forma que no caráter número de vagens por planta, superiores às obtidas nos demais cruzamentos avaliados. Na comparação de médias os resultados obtidos mostram um efeito de dominância para as gerações  $F_1$  e  $RC_1P_1F_1$ , pois apresentaram melhor performance que a média do melhor genitor (Tabela 3.3).

A reação de genótipos a deficiência hídrica têm sido rotineiramente avaliada utilizando-se parâmetros relacionados ao rendimento de grãos por ser a característica mais importante economicamente e de fácil mensuração. Os resultados obtidos no presente estudo para a produção total de grãos (g) em todas as gerações em todos os cruzamentos avaliados são apresentados na Tabela 3.4. Observa-se uma drástica redução nas produções obtidas quando comparadas a cultivos sem estresse (AGUIAR et al, 2008).

É possível que esta drástica redução na produção de grãos por planta também seja ocasionada por outros fatores associados como, por exemplo, a ocorrência de altas temperaturas, uma vez que o estresse térmico durante a fase reprodutiva da planta também ocasiona o abortamento de vagens e sementes reduzindo, portanto, a produção (KONSENS et al., 1991).

Analisando a Tabela 3.4. observa-se que no cruzamento IPR Uirapuru (T) x IPR Graúna (S), as médias evidenciaram a presença de efeito de dominância para as gerações  $F_2$  e de retrocruzamentos, uma vez que apresentaram superioridade frente às médias dos genitores.

Para o cruzamento Pérola (T) x IPR Graúna (S), e IAPAR 81 (T) x IPR Graúna (S) nas gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_1P_1F_1$ ,  $RC_1P_2F_1$  apresentaram produção médias de grãos superiores as médias dos genitores dentro de cada cruzamento, indicando a presença de efeitos de dominância (Tabela 3.4).

Da mesma forma que para os caracteres número de vagens por planta e número de sementes por vagem, as médias apresentadas para produção total de grãos (g) nas gerações estudadas no cruzamento IPR Uirapuru x LP 97-28 foram superiores quando comparadas com os cruzamentos anteriores. Observa-se na Tabela 3.4 que as gerações  $F_1$ ,  $RC_1P_1F_1$  e  $RC_1P_2F_1$  tiveram uma performance inferior que a média do melhor genitor.

Tabela 3.4 Frequência observada de plantas das gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub>, para os cruzamentos IPR Uirapurú x IPR Graúna, Perola x IPR Graúna, IAPAR 81 x IPR Graúna, IPR Uirapurú x LP 97-28 para o peso (g) em grãos por planta (RP), com o número de plantas (n), peso (g) médio total de grãos por planta (X), variância (s<sup>2</sup>) em experimento conduzido em Londrina-PR, na safra das águas 2007/2008 sob condições de estresse hídrico durante o estágio reprodutivo (R5 a R6).

<b>Cruzamento 1</b>														
	0.01-0.40	0.41-0.80	0.81-1.20	1.21-1.60	1.61-2.00	2.01-2.40	2.41-2.80	2.81-3.20	3.21-3.60	3.61-4.00	4.01-4.40			
											n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	
IPR Uirapurú (P1)	3	5	2	1								11	0,64	0,14
IPR Graúna (P2)	4	3	1									8	0,46	0,09
F1	6	3	2	2								13	0,61	0,21
F2	49	28	24	8	3	3	3					118	0,70	0,34
RC1P1F1	4	2	5	2	1	2	1	1				19	1,26	0,75
RC1P2F1	3	6	2	2	1							14	0,78	0,24
<b>Cruzamento 2</b>														
	0.01-0.40	0.41-0.80	0.81-1.20	1.21-1.60	1.61-2.00	2.01-2.40	2.41-2.80	2.81-3.20	3.21-3.60	3.61-4.00	4.01-4.40			
											n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	
Pérola (P1)	4	5	1									10	0,49	0,07
IPR Graúna (P2)	4	3	1									8	0,46	0,09
F1	2	2	5	3	2	2	1					17	1,26	0,48
F2	43	32	25	11	9	6	2	3	1			132	0,88	0,53
RC1P1F1	3	6	2	3	1	2	2	1	1			21	1,35	0,96
RC1P2F1	5	5	4	2								16	0,68	0,18
<b>Cruzamento 3</b>														
	0.01-0.40	0.41-0.80	0.81-1.20	1.21-1.60	1.61-2.00	2.01-2.40	2.41-2.80	2.81-3.20	3.21-3.60	3.61-4.00	4.01-4.40			
											n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	
IAPAR 81 (P1)		4	3	1	1							9	0,96	0,18
IPR Graúna (P2)	4	5	6									15	0,66	0,11
F1	3	4	3	2	2	1	1					16	1,08	0,54
F2	44	33	19	28	12	5	2	3	2		1	149	1,00	0,62
RC1P1F1	2	7	3	5	4	2		1				24	1,22	0,50
RC1P2F1	6	7	4	6	5		1		1			30	1,10	0,59
<b>Cruzamento 4</b>														
	0.01-0.40	0.41-0.80	0.81-1.20	1.21-1.60	1.61-2.00	2.01-2.40	2.41-2.80	2.81-3.20	3.21-3.60	3.61-4.00	4.01-4.40			
											n	$\bar{x}$	s <sup>2</sup>	
IPR Uirapurú (P1)	1	2	5	1	3	3	2	2				19	1,64	0,72
LP 97-28 (P2)	4	5	1	2	2							14	0,81	0,34
F1	2		1		1		1					5	1,17	1,09
F2	11	12	9	16	10	9	6					73	1,30	0,56
RC1P1F1	2	7	3	5								17	0,86	0,18
RC1P2F1	3	1	1	1	2							8	0,91	0,49

Observando as médias dos caracteres número de vagens por planta, número de sementes por planta e produção total de grãos por planta, verifica-se que a cultivar IPR Uirapuru comportou-se como a mais tolerante à deficiência hídrica apresentando sempre as maiores médias em relação as demais variedades utilizadas como genitores, confirmando os resultados obtidos por Molina et.al, (2001) e Aguiar (2002). Por outro lado a cultivar IPR Graúna comportou-se como a mais suscetível apresentando as menores médias para todas as características avaliadas.

Analisando os dados de variância apresentados nas Tabelas 3.2 a 3.4, pode-se inferir que as populações estudadas mostraram um elevado efeito do ambiente para todas as características avaliadas. Verifica-se que para a maioria dos cruzamentos as variâncias encontradas nas gerações  $F_1$  superaram os valores encontrados para as populações  $F_2$ . A variação observada nas populações dos genitores, possivelmente não foi ocasionada somente pelos efeitos do ambiente. Provavelmente pode ter ocorrido alguma diferença genética entre as plantas, uma vez que as variedades não são constituídas por linhas puras, mas sim originárias da mistura de várias linhas puras. O caráter tolerância à deficiência hídrica é muito influenciado pelo ambiente sendo também elevada a interação genótipo x ambiente o qual impede um progresso rápido e conseqüentemente um ganho genético elevado nos programas de melhoramento (RICAUTE et.al 2000).

A análise dos componentes de médias visando às estimativas dos efeitos genéticos envolvidos nos caracteres número de vagens por planta, número de sementes por planta e produção total de grãos por planta cultivadas sob estresse hídrico, foram efetuadas pelo método dos quadrados mínimos ponderados descrito por Mather e Jinks (1982) com auxílio do programa computacional GENFIT (TOLEDO, 1996).

As estimativas dos componentes genéticos das médias para as três características avaliadas nos quatro cruzamentos estudados são apresentados na Tabela 3.5. A aplicação do teste de Qui quadrado ( $\chi^2$ ) de conformidade revelou que o modelo foi adequado para explicar a variação genética existente entre as médias das diferentes gerações dos cruzamentos estudados para todas as características avaliadas. Para a maioria dos cruzamentos um modelo simples envolvendo apenas efeitos aditivos e de dominância foi adequado para explicar as diferenças encontradas entre as gerações estudadas. O cruzamento Pérola com IPR Graúna, para o caráter produção total de grãos sob estresse hídrico, o modelo adequado incluiu também interações não alélicas digênicas do tipo aditivo por dominante.

De modo geral observa-se que os valores de [d] foram pequenos em relação a [h] sugerindo a presença de genes dispersos nos genitores utilizados nos cruzamentos ou a existência de efeitos de dominância.

Tabela 3.5. Estimativas dos componentes genéticos das médias para o número de vagens por planta, número de sementes por planta e produção total de grãos por planta dos quatro cruzamentos avaliados em ensaio conduzido sobre estresse hídrico em Londrina-PR, na safra das águas 2007/2008.

	IPR Uirapuru X IPR Graúna	Pérola x IPR Graúna	IAPAR 81 x IPR Graúna	IPR Uirapuru x LP 97-28
Número de vagens por planta				
m	1,15±0,060	1,16±0,065	1,44±0,075	1,79±0,042
[d]	0,15±0,061	0,20±0,063	0,28±0,153	0,23±0,085
[h]	0,33±0,120	0,31±0,130	...	...
x <sup>2</sup>	0,364 <sup>ns</sup>	4,751 <sup>ns</sup>	4,359 <sup>ns</sup>	3,528 <sup>ns</sup>
gl	3	3	4	4
Número de sementes por planta				
m	1,69±0,053	1,45±0,124	1,81±0,128	2,56±0,177
[d]	0,36±0,116	0,33±0,121	0,52±0,265	...
[h]	...	0,50±0,245	...	0,87±0,385
x <sup>2</sup>	7,797	5,248	4,357	1.256
gl	4 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	4 <sup>ns</sup>	4 <sup>ns</sup>
Produtividade de grãos por planta (g)				
m	0.891±0.037	0.888± 0.039	1.050±0.043	1,422± 0,036
[d]	...	...	...	...
[h]	0.220±0.078	0.292±0.081	0.201±0.092	...
[j]	...	0.586±0.152	...	...
x <sup>2</sup>	9,276 <sup>ns</sup>	2,344 <sup>ns</sup>	9,230 <sup>ns</sup>	2,926 <sup>ns</sup>
gl	4	3	4	5

<sup>ns</sup> Não significativo à 5% de probabilidade. Componentes genéticos da média, m: média; [d]: soma algébrica dos efeitos aditivos; [h]: soma algébrica dos efeitos de dominância; [j] interação entre os efeitos aditivos x dominância.

Nenhum modelo adequado foi encontrado para as estimativas dos componentes da variância genética e ambiental nos cruzamentos estudados. Em razão disso as estimativas das variâncias genéticas e ambiental, bem como a relação entre eles foram efetuadas pelo programa computacional GENES (CRUZ, 2002). Este resultado provavelmente é decorrente do grande efeito do ambiente e da interação genótipo x ambiente nos componentes de rendimento avaliados sob condições de estresse hídrico. Múltiplas variáveis influenciam o impacto da seca nos componentes de rendimentos (SINCLAIR e PURCELL, 2005). Trabalhos realizados por Dowkiw et al. 2000, compararam os resultados

da seleção para resistência a seca efetuada em características indiretas com a seleção efetuada em características relacionadas com o rendimento em feijão. Os autores concluíram que o caráter rendimento mostrou maior interação genótipo por ambiente do que os caracteres funcionais, como a transpiração, uso eficiente de água e índice de colheita, ressaltando ainda que algumas correlações negativas entre essas características possam limitar o progresso genético usando o método de seleção indireta.

As estimativas dos componentes da variância fenotípica para os caracteres estudados sob condições de estresse hídrico, bem como as estimativas de alguns parâmetros genéticos são apresentadas na Tabela 3.6. Observa-se que para o caráter número total de vagens por planta, apenas o cruzamento Pérola x IPR Graúna foi o que apresentou efeito genético aditivo e conseqüentemente foi possível estimar a herdabilidade no sentido restrito e o ganho de seleção. Para os demais cruzamentos detectou-se a presença de elevado efeito genético de dominância. Os coeficientes de herdabilidade no sentido amplo estimados foram de baixos a médios variando de 66,58% a 8,37%.

Os parâmetros genéticos estimados para o número total de sementes por planta tiveram comportamento similar ao caráter analisado anteriormente, só que neste caso o cruzamento que apresentou variância genética aditiva foi o IAPAR 81 x IPR Graúna. A herdabilidade no sentido amplo estimado apresentou valores médios variando de 22,57% a 47,22%.

Finalmente, para o caráter rendimento total de grãos por planta, somente o cruzamento IPR Uirapuru x LP 97-28 apresentou efeito genético aditivo, embora esse valor tenha sido muito pequeno. A herdabilidade no sentido amplo estimado variou de 16,27% a 49,3%.

De um modo geral, observa-se que os coeficientes de herdabilidade no sentido amplo estimados para os caracteres avaliados sob condições de estresse hídrico apresentaram valores baixo a moderado para todos os cruzamentos estudados, evidenciando a ocorrência de baixa variabilidade genética nas populações estudadas e a forte influencia do ambiente no caráter tolerância ao estresse hídrico. Valores baixos a moderados, variando de 0,19% a 0,59% também foram obtidos em estudo realizado por Schnaider et. al., (1997). Esses resultados indicam que a introdução da tolerância à deficiência hídrica em variedades com características agronômicas desejáveis é possível, porém é necessário utilizar métodos de melhoramento mais complexos como a seleção recorrente.

Tabela 3.6 Estimativas dos componentes da variância fenotípica e dos parâmetros genéticos das gerações P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>1</sub>P<sub>1</sub>F<sub>1</sub> e RC<sub>1</sub>P<sub>2</sub>F<sub>1</sub>, para os cruzamentos IPR Uirapuru x IPR Graúna, Pérola x IPR Graúna, IAPAR 81 x IPR Graúna, IPR Uirapuru x LP 97-28 para os caracteres número de vagens por planta, número de sementes por planta e produção total de grãos por planta em experimento conduzido sob estresse hídrico em Londrina-PR, na safra das águas 2007/2008.

<b>Número Total de Vagens por Planta</b>	<b>IPR Uirapuru x IPR Graúna</b>	<b>Pérola x IPR Graúna</b>	<b>IAPAR 81 x IPR Graúna</b>	<b>IPR Uirapuru x LP 97-28</b>
Variância Fenotípica	1,1	2,01	1,93	38,53
Variância de Ambiente (F2)	0,37	1,84	0,47	26,92
Variância Genotípica	0,73	0,17	0,46	11,6
Variância Aditiva	-0,56	0,73	-0,19	-22,28
Variância de desvio de dominancia	1,29	-0,56	0,65	33,89
Herdabilidade ampla ( h <sup>2</sup> a %)	66,58	8,37	23,95	30,12
Herdabilidade restrita ( h <sup>2</sup> r %)	-51,07	36,19	-9,95	-57,83
Heterose %	9,46	105	9,28	13,4
Grau médio da dominância( gmd)	0,6	9,64	-3,25	7,69
Ganho por seleção	0	0,72	0	0
Ganho por seleção %	0	34,25	0	0
<b>Número Total de Sementes por Planta</b>				
Variância Fenotípica	8	10,69	12,64	38,53
Variância de Ambiente (F2)	4,22	8,28	9,55	28,57
Variância Genotípica	3,78	2,41	3,05	9,96
Variância Aditiva	-7,92	-4,76	4,72	-22,28
Variância de desvio de dominancia	11,69	7,17	-1,67	32,24
Herdabilidade ampla ( h <sup>2</sup> a %)	47,22	22,57	24,13	25,84
Herdabilidade restrita ( h <sup>2</sup> r %)	-98,97	-44,47	37,33	-57,83
Heterose %	14,21	161,98	24,83	2,27
Grau médio da dominância( gmd)	0,77	22,45	18,12	18,01
Ganho por seleção	0	0	1,85	0
Ganho por seleção %	0	0	38,18	0
<b>Produção Total de Grãos por Planta</b>				
Variância Fenotípica	0,33	0,52	0,62	1,18
Variância de Ambiente (F2)	0,17	0,3	0,39	0,99
Variância Genotípica	0,17	0,22	0,22	0,19
Variância Aditiva	-0,17	-0,01	-0,04	0,07
Variância de desvio de dominancia	0,33	0,23	0,26	0,12
Herdabilidade ampla ( h <sup>2</sup> a %)	49,3	42,63	36,46	16,27
Herdabilidade restrita ( h <sup>2</sup> r %)	-51,2	-2	-6,56	6,11
Heterose %	32,5	189,24	30	-0,09
Grau médio da dominância( gmd)	1,58	18,32	1,52	-1,04
Ganho por seleção	0	0	0	0,09
Ganho por seleção %	0	0	0	5,17

Outra ferramenta que poderá auxiliar o melhoramento genético de um caráter quantitativo de herdabilidade moderada a baixa como é caso da tolerância a seca, é o uso da seleção assistida por marcadores moleculares (SAM) que permite identificar genótipos superiores em populações iniciais de autofecundação. Para que esta técnica possa ser utilizada depende ainda da identificação de QTL's (Quantitative Trait Loci), mais estáveis e de grandes efeitos.

Os valores de heterose obtidos variaram de 0,0% a 189%. Para alguns cruzamentos a heterose contribuiu para o aumento do número total de vagens por planta, número total de sementes por planta e produção de grãos por planta em cultivos submetidos a estresse hídrico. Provavelmente os valores obtidos em alguns cruzamentos, foram decorrentes da diversidade genética existente entre os genitores. As estimativas do grau médio de dominância (gmd) variaram de -1,04 a 22,45 (Tabela 3.6.). Para os valores de gmd em torno de -1 indica provável dominância completa dos genes que condicionam tolerância a seca, como o caso dos cruzamentos IAPAR 81 x IPR Graúna para o caráter número total de vagens por planta e IPR Uirapuru x LP 97-28 para o caráter produção de grãos por planta. Para os casos onde gmd foi superior a 1 indica provavelmente a existência de dominância. A presença dos efeitos de dominância foi detectada para a maioria dos cruzamentos realizados (Tabela 3.6).

A análise dos resultados obtidos sugere que a tolerância ao déficit hídrico em feijoeiro é controlada por um sistema múltiplo de genes como uma provável tendência da tolerância ser dominante sobre a suscetibilidade. Os resultados obtidos em outros estudos de herança para tolerância a seca em feijoeiro (KELLY, 2002) apresentaram resultados similares ao do presente estudo.

### **3.5 CONCLUSÕES**

As características de número total de vagens por planta, número total de sementes por planta e produção total de grãos por planta, apresentam herança poligênica para todos os cruzamentos efetuados, manifestando-se amplamente efeitos de dominância, associados a efeitos aditivos em todos os cruzamentos.

As estimativas dos coeficientes de herdabilidade, apresentaram valores baixo a moderado o qual dificulta a seleção de plantas que reünam características de tolerância a seca e outros caracteres agronômicas de interesse econômico.

Os valores de heterose estimados evidenciaram a contribuição significativa dos efeitos genéticos de dominância sob condições de estresse hídrico. Provavelmente, o valor elevado da heterose em todas as características testadas é decorrente da diversidade genética existente entre os genitores.

#### **4. CONCLUSÕES GERAIS**

Os resultados obtidos evidenciam a existência de um sistema múltiplo de genes, predominando os efeitos genéticos aditivos e de dominância. Verifica-se que o controle genético da tolerância a seca em feijão é um caráter bastante complexo e de regulação multigênica e muito influenciado pelo ambiente.

Sugere-se incluir o estudo de novas características para o estresse hídrico em feijoeiro para abranger um maior número de vias metabólicas e sua incidência nas respostas do feijoeiro frente ao fenômeno da seca.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; SHIBATA, J.K. Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Field Crop Res.** V.20, p 81-93, 1989.
- ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; WHITE J.W.. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. **Crop Sci.** 35:199-204. 1995.
- AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V. avaliação de linhagens promissórias de feijoeiro do grupo comercial carioca quanto a tolerância ao estresse térmico. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7; 2002, Viçosa, MG. **Anais.** Viçosa: UFV, 2002<sup>a</sup>. 842p p.418-420.
- ALLARD, R, W.; BRADSHAW. A. D. Implications of genotype- environment interactions in applied plant breeding. **Crop. Sci.** 4: 503-508 1964.
- ARAÚJO GOMES A.; ARAÚJO A. P.; PEREYRA ROSSIELLO R. O.; PIMENTEL C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília Vol.35 no. 10 out. 2000.
- AZCON-BIETO, J. Las relaciones hídricas (Capítulo 3). In: SANCHEZ, D.M., AGUIRRE, J. **Fisiología y bioquímica vegetal.** McGraw Hill-interamericana de España. Madrid, 1993.
- BHATTACHARGEE D. D.; RAMAKRISHNAYYA G., RAND S. C. Physiological basis of drought conditions. **Oryza** 8(2): 61-68. 1971.
- BEEBE S.; RAO M I.; GRAJALES M. Á. CAJIAO C. Evaluación de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), desarrolladas para resistencia a sequía en combinación con el gen bc-3 para resistencia a BCMV; LIII **Reunión Anual PCCMCA** Pág.53. 2007.
- BERGAMASCHI, H.; VIERA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGE-LOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro I. Análise de crescimento e fenología. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.7, p.733-743, 1988.
- BLISS, F.A. Breeding common bean for improved biological nitrogen fixation. **Plant soil** 152:71-79, 1993.

BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: BELHASSEN, E. Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biology analysis. Dordrecht: **Kluwer Academic**, 1997. p. 57-70.

BREVEDAN E.R.; HUDGUES H. F. Effects of Moisture deficits on C14. Translocation in corn ( *Zea Mays L.* ). **Plant Physiology** 52(5) 436 - 439 1973.

CALVACHE A.M.; REICHARDT K. Efeito de épocas de deficiência hídrica na eficiência do uso do nitrogênio da cultura do feijão cv. imbabello. **Sci. agric.**, vol.53, n.2-3, pp. 343-353, 1996.

CALVACHE A.M.; REICHARDT K.; MALAVOLTA E.; BACCHI O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão **sci. Agric.** Vol. 54 n. 3 piracicaba sep./dec. 1997

CARABALLO, R.A. Mejoramiento para resistencia la sequia en el cultivo del arroz. **Instituto de Investigaciones del Arroz (IIArroz)**, Sancti spiritu, Cuba. 30 de octubre al 10 de noviembre de 2006.

CAVALLI, L. L. An analysis of linkage in quantitative inheritance. In: Quantitative Inheritance. H.M.S.O. London. 1952, p. 135-144.

CIAT, Colombia. Bean program: Annual report 1984. **Working Document**, 7. Cali: CIAT.1985a. p.92-96.

CONAB. Acompanhamento da safra Brasileira de grãos 2008/2009 – **Sexto Levantamento** – Mar/2009, p. 11-14.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa : UFV, 2001. 390 p.

CHANG T. T; G C. LORESTO; J, C. O'TOOLE AND J. L. ARMENTA SOTO. Strategy and methodology of breeding rice for drought prone areas. **In Drought 19 resistance in crops with emphasis on rice**. IRRI. Los Baños, philippines, 1983, pag 217-244.

CHEN, J-B, WANG S-M; JING, R-L; MAO, X-G. Cloning the PvP5CS gene from common bean (*Phaseolus vulgaris*) and its expression patterns under abiotic stresses. **Journal of Plant Physiology**, 2008.

CUNHA, G. R., BERGAMASCHI, H. Efeito da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorología aplicada à irrigação** Porto Alegre: UFRGS-Ed. Universitária, 1992. p. 85-97.

DICKSON, M. H., PETZOLDT, R. Deleterious effects of white seed due to p gene in beans. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 113:111-114, 1988.

DOWKIN, A., WRIGHT, G.C., CRUISCKSHANK, A., REDDEN, R. Indirect selection for drought resistance: A pilot study. **Annual Food Legume news letter**, 31:4-10. 2000.

EBERHART S. A.; RUSSELL. W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop. Sci.** 6: 36-40 1966.

FARIA, R. T.; MADRAMOOTOO, C. A. Simulation of soil moisture profiles for wheat in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p.35-49, 1996.

GOMES, A.A., ARAÚJO, A.P., ROSSIELLO, R.O, PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.10, p.1927-1937, out. 2000.

GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, n.13, p.1874-1881,2000.

GUIMARÃES, C. M.; ZIMMERMANN, M. J. Deficiência hídrica em feijão. In: Reunion de Trabajo sobre Mejoramiento en Frijol em Brasil con Enfasis en Tolerancia a Sequia, 1985, Cali. **Anais.Cali: CIAT**, 1985. p.15-28.

HALL, A.E. Is dehydration tolerance relevant to genotypic differences leaf senescence and crop adaptation to dry environments? In: close, T.J; Bray, E.A. Plant Response to Cellular Dehydration During Environmental Stress. **The American Society of Plant Pathologists**. Rockville, Maryland. P.1-10, 1993.

HAYMAN, B.I. the separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means: II **Genética**, 31 133-146. 1960b.

KELLY, J.D.; GEPST, P.; MIKLAS, P.N.; COYNE, D.P. Tagging and mapping of genes and QTL and molecular marker-assisted selection for traits of economic importance in bean and cowpea. **Fields Crops Res.** 82:135-154, 2003.

KONSENS, I; OFIR, M; KIGEL, J. The effect of temperature on the in dry french beans (*Phaseolus Vulgaris L*) **Ann. Bot.** 67:391-399, 1991.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils.** San Diego : Academic, 1995. 495p.

LORESTO C. G. Screening techniques for drought resistance in rice. **National Seminar on breeding for stress resistant in Crop Plants.** IRRI. Los Baños. Laguna. Philippines 45 p. 1986.

MAUREL, C.; CHRISPEELS, M.J. Aquaporins. A molecular entry into plant water relations. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** , v.125, p. 135-138, 2001.

MAUREL, C. Aquaporins and water permeability of plant membranes. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** v.48 p. 339-429, 1997.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance of crop plants. **Current Science**, v.80, p. 758-763, 2001.

MIRANDA, N. O.; BELMAR, N. C. Déficit hídrico y frecuencia de riego en fríjol (*Phaseolus vulgaris L.*). **Agricultura Técnica**, Santiago, v. 37, n. 3, p. 111-117, 1977.

MODA-CIRINO, V.; OLIARI, L.; LOLLATO, M.A; FONSECA, N.S. IAPAR 81 Common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 1 (2): 203-204, 2001a.

MODA-CIRINO, V.; OLIARI, L.; LOLLATO, M.A; FONSECA, N.S. Uirapuru Common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 1 (2): 205-206, 2001b.

MOLINA, J. C; MODA-CIRINO, V.; FONSECA JÚNIOR, N.S; FARIA, R. T; DESTRO, D. Response of Common bean cultivars and lines to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 1 (4): 363-372, 2001.

MONTERROSO, V.A; WIEN, H.C. Flower and pod abscission due to heat stress in beans. **J.Amer.Soc.Hort.Sci.** 115:631-634, 1990.

MENESES, C.H.S.G.; MORAES Lima, L.H.G.M.; LIMA, M.M.A.; VIDAL, M.S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Rev. Brás. Ol. Fibrós.**, Campina Grande, v.10, n 1/2, p. 1039-1072, jan./ago. 2006

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance of crop plants. **Current Science**, v.80, p. 758-763, 2001.

NIX, H. A. Aspects of drowht from agroclimatic perspective. Pages 3-5 in **drowth resistance in crops with emphasis on rice**. International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna, Philippines, 324 P,1982.

PAJARITO-RAVELERO A., IBARRA-PÉREZ, F. J. OCHOA-MÁRQUEZ, R. Estudio de genotipos de frijol en dos condiciones de humedad en la zona semiárida de México. **XXXIV Reunión del PCCMCA**. San José, Costa Rica. 58 p. 1988.

PASSIOURA, J.B. Soil conditions and plant growth. **Plant Cell Environ.** 25:311-318, 2002.  
PEÑA-CABRIALES, J.J.; CASTELLANOS, J.Z. Effets of water stress on N<sub>2</sub> fixation and grain yield of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**, v.152, p.151-155, 1993.

PIMENTEL, C; GOMES, A.A; OTTONI FILHO, T.B. Trocas gaseosas em folhas de feijoeiro de plantas hidratadas e teores de carboidratos e aminoácidos livres sob deficiência hídrica. **Agron.** 35:66-70, 2001.

PROCÓPIO, S.O., SANTOS, J.B., SILVA, A.A., DONAGEMMA, G.K., MENDOÇA, E.S. Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. **Planta daninha**, viçosa, MG, vol.22, n.1, pp. 35-41, 2004.

RAMIREZ-VALLEJO, P; KELLY, J.D. Traits related to drowth resistance in common bean. **Euphytica**. v:127-126, 1998.

RODRÍGUEZ J. H. **Análisis dialético de cruas de arroz ( *Oryza sativa* L. ) para obtener resistencia a sequía**. 232 p. 1984. Tesis . Colegio de postgraduados. Inst. De Enseñanza e Inv. en Cienc. Agric. Chapingo. México 232 p. 1984.

RHODES, D.; HANSON, A.D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.44, p. 357-384, 1993

RONTEIN, D.; BASSET, G. HANSON, A.D. Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. **Metabolic Engineering**, v.4, p. 49-56, 2002.

- ROSALES-SERNA, R.; KOHASHI-SHIBATA, J., ACOSTA-GALLEGOS, J.A., TREJO-LÓPEZ, C., ORTIZ-CERECERES, J., KELLY, J.D. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. **Field Crops Res.** 85:203-211, 2004.
- ROJAS GARCIDUEÑAS, M. La resistencia a la sequía. **Ciencia UANL**, vol VI, n 3, julio-septiembre, 2003.
- ROSALES-SERNA, R.; et al. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. **Field Crops Res.** 85:203-211, 2004.
- SAMPER, C. Effects of water stress imposed at mid-pod filling upon yield and dry matter partitioning in dry beans (*P. vulgaris*). **M.S. Thesis**. Michigan State University, East Lansing, MI, USA. 131p.
- SÁNCHEZ DÍAZ M.; AGUIRRE O J.- capítulo 3 Las:Relaciones hídricas. In. AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN M. (editor). **Fisiología y bioquímica vegetal**. Madrid 1993, McGraw Hill-Interamericana de España.
- SAXENA, C. M., SILIM, S. N., SINGH B. K. Effect of supplementary irrigation during reproductive growth on winter and spring Chickpea (*Cicer arietinum*) in a mediterranean environment. **J. Agric. Sci.** 114: 285-293. 1990.
- SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Osmolyte accumulation: Can it really help increase in crop yield under drought conditions? **Plant Cell Environmental.** v.25, p. 333-341, 2002.
- SCHNEIDER, K.A, BROTHERS, M.A, KELLY, J.D. Marker-assisted selection to improve drought resistance in common bean. **Crop Sci.** 37:51-60, 1997b.
- SCHNEIDER, K.A; ROSALES-SERNA, R; IBARRA-PEREZ, F; CAZAREZ-ENRIQUE, B; ACOSTA-GALLEGOS, J.A; RAMIREZ-VALLEJO, P; WASSIMI, N; KELLY, J.D. Improving common bean performance under drought stress. **Crop sci.** 37:43-50, 1997a.
- SHEVELEVA, E.; CHMARA, W.; BOHNERT, H.J.; JENSEN, R.G. Increased salt and drought tolerance by D-ononitol production in transgenic *Nicotiana tabacum* L. **Plant Physiology**, v.115, p. 1211-1219, 1997
- SHONARD, G.C, GEPTS, P. Genetics of heat tolerance during reproductive development in common bean. **Crop. Sci.** 34:1168-1175, 1994.

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common beans **Crop.Sci.** 35:118-124, 1995.

STEEL, R.G.D; TORRIE, J.H. **Principies and procedures of statistics.** New York:McGraw-Hill Book Co, 1980. 633p.

SOULAGES, J.L.; KIM, K.; WALTERS, C.; CUSHMAN, J.C. Temperature-induced extended helix random coil transitions in a group 1 late embryogenesis-abundant protein from soybean. **Plant Physiology**, v.128, p. 822-832, 2002.

TAVITAS F. L.; HERNÁNDEZ L. Genótipos R.H.S. Novos Avancos no Melhoramento Genético do arroz de sequeiro no México, pag. 84. En: Arroz na America Latina perspectivas para o incremento da produção e do potencial produtivo. **IX Conferencia Internacional de arroz para America Latina e o Caribe e V Reunião Nacional de Pesquisa de arroz**, Goiânia, G.O.Brasil 1994. Ed.. Beatriz Da Silva Pinheiro e Encio Perpetuo Guimarães. EMBRAPA-CNPAP 'Goiânia, G.O.Vol. 1 296p. 1995.

TERÁN, H; SINGH, S.P. Selection for drought resistance in eraly generations of common bean populations. **Can. J. Plant Sci.** 82:491-497, 2002.

TOLEDO, J. F. F. de ; POONI, H. S. ; JINKS, J. L. . Predicting The Properties Of Secon Cycle Hybrids Produced By Inter- Crossing Inbred Lines. **Heredity** (Edinburgh), Londres, v. 53, n. 2, p. 283-292, 1984.

TURNER, N.C. Crop water deficits: A decade of progress. **Advances in Agronomy**, Ithaca, 39:1-51, 1986.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. A novel cis-acting element in an Arabidopsis gene is involved in responsiveness to drought, low-temperature, or high-salt stress. **Plant Cell**. v.6, p. 251-264, 1994.

WEAVER, M.L.; Ng, H.; BURKE, D.W.; SILBERNAGEL, N.J.; FOSTER, K.; TIMM, H. Effect of soil moisture tension on pos retention and seed yield of bean. **Horticultural Science**, v.19, p.567-572, 1984.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

### Curva de retenção de umidade do solo

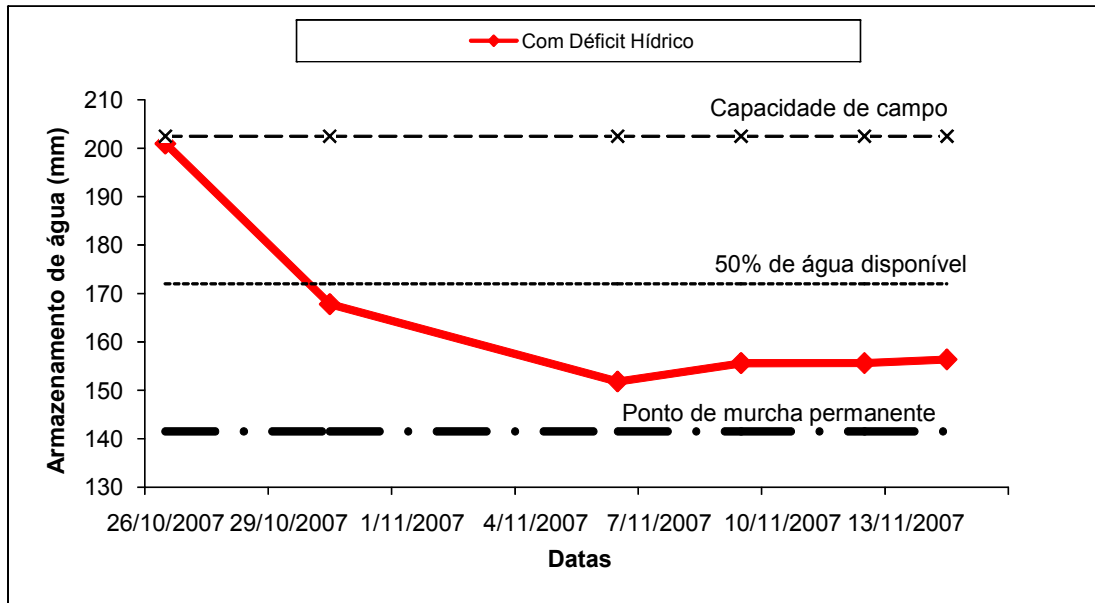


Figura 1. Armazenamento de água no perfil do solo (0-60cm) na área onde foi estabelecido o ensaio visando determinar o controle genético da tolerância a seca em feijão. Londrina-PR safra das águas 2007/2008.