



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-9601

Dezembro, 2004

# *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 10*

## **Método de Diagnóstico de lavouras com base nos componentes da produtividade: caso do feijoeiro**

Luís Fernando Stone

Santo Antônio de Goiás, GO  
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

### **Embrapa Arroz e Feijão**

Rodovia Goiânia a Nova Veneza Km 12 Zona Rural  
Caixa Postal 179  
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO  
Fone: (62) 533 2123  
Fax: (62) 533 2100  
www.cnpaf.embrapa.br  
sac@cnpaf.embrapa.br

### **Comitê de Publicações**

Presidente: *Carlos Agustin Rava*  
Secretário-Executivo: *Luiz Roberto Rocha da Silva*  
*Alberto Baêta dos Santos*  
*Pedro Marques da Silveira*

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*  
Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*  
Capa: *Nérison Paulino*  
Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

### **1ª edição**

1ª impressão (2004): 500 exemplares

### **Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Arroz e Feijão

---

Stone, Luís Fernando.

Método de diagnóstico de lavouras com base nos componentes da produtividade : caso do feijoeiro / Luís Fernando Stone. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

28 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 10)

1. Feijão - Componente da produtividade. I. Título. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

---

CDD 635.652 (21. ed.)

© Embrapa 2004

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>11</b>
Condições gerais do estudo e dados coletados .....	11
Expressão da produtividade .....	12
Relação entre os componentes da produtividade .....	12
Produtividade máxima como função da população de plantas ( $Y_{M/NP}$ ) .....	13
Produtividades máximas em diferentes fases do crescimento .....	13
Índices de realização em fases sucessivas .....	14
Perfis de estresse .....	15
Estresses localizados dentro de uma fase .....	16
<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>17</b>
Produtividade limitada pela radiação( $Y_{RAD}$ ) .....	17
Relações entre os componentes da produtividade .....	17
Produtividade máxima como função da população de plantas( $Y_{M/NP}$ ) .....	19

Índices de realização em fases sucessivas .....	21
Perfis de estresse .....	24
Estresses localizados dentro de uma fase .....	25
<b>Conclusões .....</b>	<b>27</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>27</b>

# Método de diagnóstico de lavouras com base nos componentes da produtividade: caso do feijoeiro

---

*Luís Fernando Stone*

## Resumo

Objetivou-se com este trabalho adaptar e validar para a cultura do feijoeiro um método de diagnóstico de lavouras baseado na análise dos componentes da produtividade de grãos. Foram utilizados dados obtidos em experimentos conduzidos na Embrapa Arroz e Feijão com a cultivar de feijoeiro Aporé. A produtividade foi decomposta em três componentes, cada um representando uma fase do desenvolvimento. O valor máximo de cada componente (M), sob condições locais, é definido pela cultivar considerada e pelos valores dos componentes antecedentes. Estes valores estabelecem o nível de competição pelos recursos a que um componente da produtividade é submetido. A competição começa além de um valor crítico (L) de população de plantas (NP). Uma curva limite superior, formada por uma reta horizontal e uma hipérbole, foi definida para cada componente em função de NP, e uma produtividade máxima possível ( $Y_{M/NP}$ ) avaliada para cada valor de NP. Foi realizado o diagnóstico das limitações da produtividade do feijoeiro com base na análise dos componentes da produtividade em comparação com seus valores potenciais, definidos índices de realização para diferentes estádios do ciclo visando quantificar estresses locais e situá-los em relação ao tempo, e proposto um tratamento que distingue os estresses de longa duração dos estresses transitórios. Verificou-se que o limite de competição L de um componente foi mais baixo quanto mais tarde no

---

<sup>1</sup> *Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO. stone@cnpaf.embrapa.br*

ciclo ele foi determinado.  $Y_{M/NP}$  aumentou com NP até o primeiro limite de competição. Subseqüentemente, ocorreram ajustamentos entre componentes sucessivos, estabilizando assim  $Y_{M/NP}$  ao longo de níveis de NP. O método permitiu identificar a ocorrência de estresses e estimar a sua importância. A produtividade do feijoeiro foi mais afetada por estresse ocorrido durante a floração e a baixa população de plantas não contribuiu para minimizar o efeito do estresse nesta fase. Para a obtenção das maiores produtividades foi mais importante o completo enchimento dos grãos que a sua formação.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, população de plantas, limites de competição, estresses.

# Method of diagnosis of farm fields based upon yield components: case of common bean

---

## Abstract

*The objective of this study was to adapt and to validate to common bean crop a method of diagnosis of farm fields based upon grain yield components analysis. Data of experiments carried out at Embrapa Rice & Beans with Aporé common bean cultivar were used. Yield was broken down into three components, each representing one phase of the growth cycle. The maximum value for each component ( $M$ ) is defined by the cultivar, under local conditions, and from the values that the previous components have reached. These values establish the competition level for resources that a growing component undergoes. Competition begins beyond a critical value ( $L$ ) of plant population ( $NP$ ). An upper boundary line was defined on the base of  $NP$  for each component. It was formed by an horizontal line and an hyperbola. A maximum grain yield ( $Y_{M/NP}$ ) was evaluated for each  $NP$  value. The diagnosis of yield limitation in common bean was done based on analysis of yield components, compared to their potential values. Realization indices for different phases of growth are defined to quantify local stresses, and to locate them in relation to time. A treatment is proposed which allows to distinguish long-lasting stresses from transient or random stresses. The results showed that the latter in the cycle a component was determined, the lower the competition limit  $L$ .  $Y_{M/NP}$  increased with  $NP$  up to a first competition limit. Subsequently, adjustments occurred between successive components, thereby stabilizing  $Y_{M/NP}$  across levels of  $NP$ . The method allowed to identify the occurrence of local stresses and to estimate their importance. Common bean grain yield was more affected by stresses occurring in the*

*flowering phase and low plant population did not contribute to minimize the stress effect in this phase. The complete grain filling was more important than the grain formation to obtain the highest grain yields.*

*Key words: Phaseolus vulgaris, plant population, competition limits, stresses*

## Introdução

Os dados de produtividade obtidos em levantamentos realizados em lavouras apresentam grandes variações que tornam difícil tanto a análise estatística clássica como a sua interpretação. A falta de informação do histórico detalhado das culturas torna a análise ainda mais difícil.

Wey et al. (1998), baseados na assunção que os componentes da produtividade observados na maturação são indicativos das condições de crescimento no momento em que foram formados, apresentaram um método que permite a estruturação dos dados, ou seja, uma reconstrução *a posteriori* da história da cultura, em termos de presença ou ausência de estresses que tenham afetado uma lavoura específica no levantamento.

Os componentes da produtividade do feijoeiro apresentam diferente sensibilidade aos estresses ao longo da sua formação. No caso de deficiência hídrica, por exemplo, a sua ocorrência durante o período de floração e formação das vagens produz abortamento de flores e vagens jovens, ajudando a formação das primeiras, pois ocorre uma competição fonte-dreno, sendo então eliminadas flores anormais, com falha na fertilização, ou vagens mais novas que abortam por falta de nitrogênio ou carboidratos (Calvache et al., 1997). Estresse hídrico no estágio de enchimento das vagens produz um abortamento de vagens jovens e produção de vagens chochas nas extremidades, tendo em vista que o enchimento ocorre da base para as pontas. Deficiência de água durante os estádios final de enchimento de grãos e maturação causam redução no número de grãos por vagem, devido ao abortamento dos últimos grãos, pois a planta transloca carboidratos para os grãos mais velhos em detrimento dos mais novos. Este processo reduz o ciclo da cultura. Estresse hídrico durante a maturação reduz a massa das sementes, evidenciando a necessidade de água para formação e transporte de todas as substâncias solúveis, fotossintatos e carboidratos das fontes, as folhas e raízes, aos drenos, os grãos, onde ocorre a transformação em matéria seca. Períodos de estresse antes da floração, por sua vez, retardam o desenvolvimento da planta. A menos que o estresse seja prolongado, a produção de sementes não sofre uma redução expressiva, se as condições favoráveis de umidade forem mantidas após o mesmo (Calvache et al., 1997).

O máximo valor que um componente da produtividade pode alcançar, na ausência de fatores limitantes que não sejam a radiação e a temperatura

prevalentes na região, é assumido ser uma característica varietal para a região em estudo, assumindo condições homogêneas de radiação e temperatura. Este valor é estimado dos dados amostrados, assumindo que em alguns locais o potencial pleno da cultivar é expresso.

Os componentes da produtividade podem, entretanto, ser limitados pelas densidades populacionais, número de plantas por hectare ou grãos por hectare, se estas são suficientemente altas para causar competição por recursos. Por causa disto, o valor do primeiro componente, número de plantas por hectare, freqüentemente determina o valor máximo do componente seguinte e, finalmente, a máxima produtividade possível.

Quando ocorre a competição, os assimilados por unidade de área que contribuem para a formação de um componente da produtividade são divididos entre os elementos deste componente, isto é, entre plantas e entre grãos por planta. O nível de competição entre estes elementos depende da sua população. A competição exercida entre plantas para estabelecer seu número de vagens por planta ou seu número de grãos por planta é função do número de plantas por área. Para a massa dos grãos, a competição é exercida em dois níveis: entre plantas, o indicador é sempre o número de plantas por área, e intra plantas, competição entre os grãos que estão enchendo pela divisão da energia capturada por esta planta, que é dependente do número de grãos por planta. Um indicador do nível de competição total entre os grãos que estão enchendo é o produto dos dois termos, ou seja, o número de grãos por área.

Sob competição, pode ocorrer correlação negativa entre um componente da produtividade e aquele formado previamente. O método proposto por Wey et al. (1998) não exclui os efeitos de compensação entre os componentes da produtividade, mas eles não podem exceder a estrita compensação.

Um componente é testemunha da fase do ciclo na qual ele é estabelecido. Dentro de uma dada situação, a diferença entre o valor que ele assume e seu valor máximo fixado pelos componentes já estabelecidos é um indicador da existência de limitações ao longo da fase correspondente. A localização da limitação dentro do tempo ajuda a identificar a sua natureza, pela confrontação com as informações disponíveis sobre o histórico da cultura. Deste ponto de vista, a distinção dos componentes da produtividade só é de interesse quando eles correspondem a fases do ciclo bem identificadas (Siband et al., 1999).

O método proposto por Wey et al. (1998) é baseado na análise da determinação seqüencial da produtividade por meio dos seus componentes, e a comparação, mediante índices de realização, da produtividade final observada com sucessivas estimativas atualizadas da produtividade potencial futura, calculada no final de cada fase. Os índices de realização são submetidos a diferentes apresentações na forma de tabelas e gráficos, que são analisados, parte por meio da análise estatística clássica, mas uma grande parte por meio do exame visual direto, dando uma grande liberdade de interpretação. Esta aproximação, que pode ser qualificada como semi-quantitativa, tem limitações óbvias e apresenta o perigo de um maior subjetivismo, mas também tem seu rigor e permite obter resultados práticos, que têm o seu valor.

O objetivo deste trabalho é adaptar e validar para a cultura do feijoeiro o método de diagnóstico com base nos componentes da produtividade e aplicá-lo para determinar os limites de competição dos componentes e diagnosticar a ocorrência de estresses que afetam a produtividade.

## Material e Métodos

### *Condições gerais do estudo e dados coletados*

O método propõe que os dados relativos à produtividade e seus componentes sejam obtidos em duas áreas de 20 a 30 m<sup>2</sup> dentro de cada lavoura amostrada, o que permite assegurar um controle da qualidade da informação. A análise dos resultados é feita sobre os valores médios das duas áreas, após verificação da sua coerência. No caso deste trabalho, como simulação de lavoura, utilizaram-se 275 parcelas de experimentos sobre preparo do solo, lâmina de irrigação e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijoeiro, conduzidos em Latossolo Vermelho distrófico, na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, GO (Stone & Moreira, 2000, 2001). Nestes experimentos foi utilizada a cultivar Aporé, semeada no mês de junho, no espaçamento entrelinhas de 0,45 m.

Em cada parcela foi feita uma contagem do número de plantas (NP) e do número de vagens (NV) na colheita e uma determinação direta da produtividade (PROD) e do seu teor de umidade. A massa unitária média do grão (MG) foi obtida de um lote de 1000 grãos. As massas foram corrigidas para 13% de umidade. O

número de grãos por hectare (NG) foi obtido pela divisão de PROD por MG , o número médio de vagens por planta (NVP), pela divisão de NV por NP e o número médio de grãos por planta (NGP), pela divisão de NG por NP.

Para se ter certeza que as amostras (parcelas) incluíam produtividades próximas da produtividade máxima possível para as condições prevalecentes de radiação e temperatura ( $Y_{RAD}$ ), as produtividades observadas foram comparadas com as produtividades potenciais determinadas por Meireles et al. (2003) com a aplicação do modelo CROPGRO-Dry Bean para o município de Santo Antônio de Goiás, GO.

### ***Expressão da produtividade***

A produtividade foi expressa por:

$$PROD = NP \times NGP \times MG \quad (1)$$

sendo cada componente representante da fase em que é estabelecido. Assim, NP é representante da fase vegetativa, NGP da floração e MG da maturação.

### ***Relações entre os componentes da produtividade***

As relações entre os seguintes pares de variáveis x e y foram examinadas: NP x NVP, NP x NGP e NG x MG.

As linhas limites destas relações consistem de uma linha horizontal seguida de uma hipérbole, formando uma curva envoltória (Figura 1). As correspondentes equações foram calculadas após ajuste das linhas limite aos dados. A linha horizontal foi ajustada pelo ponto de maior valor do eixo das ordenadas ( $y_{max}$ ). A hipérbole foi ajustada pelo ponto em que o produto das coordenadas xy foi máximo ( $xy_{max}$ ).

Para cada componente, foi determinado o limite de competição (L):

$$L \cong xy_{max}/y_{max} \quad (2)$$

que é o ponto da abcissa correspondente a interseção entre a linha e a hipérbole (Figura 1). L foi calculado usando o conjunto de equações obtidas para os dois componentes da linha limite.

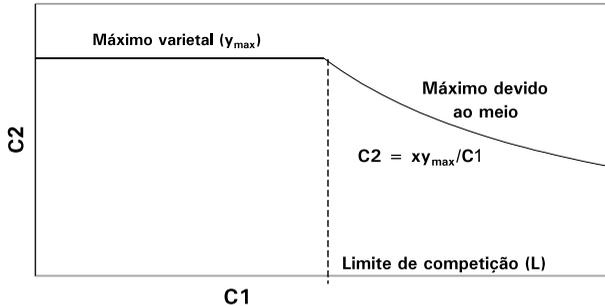


Fig. 1. Representação teórica da relação ao máximo (curva envoltória) de dois componentes da produtividade sucessivos, C1 e C2, sendo C1 um componente relacionado à área.

### ***Produtividade máxima como função da população de plantas ( $Y_{M/NP}$ )***

Foi assumido que o máximo valor de um componente é determinado pelos valores dos componentes estabelecidos previamente. O valor do primeiro componente (NP), portanto, estabeleceu o limite superior para o segundo e assim por diante. NP determinou NGP e estes determinaram MG. O produto destes valores sucessivos determinou a produtividade máxima para cada valor de NP ( $Y_{M/NP}$ ). A maior produtividade máxima obtida ( $Y_{MAX}$ ) foi considerada uma estimativa de  $Y_{RAD}$ . Para o propósito de cálculo, foi usado o mais baixo valor de NP que permitiu  $Y_{RAD}$  ser alcançado.

### ***Produtividades máximas em diferentes fases do crescimento***

Na prática, as plantas são submetidas a vários estresses e os componentes da produtividade não alcançam o valor potencial definido. Assim, cada vez que um componente da produtividade é fixado pela planta, isto é, ao fim de cada fase, um valor atualizado da futura produtividade potencial pode ser calculado. Estas produtividades potenciais futuras foram obtidas pela multiplicação dos valores reais dos componentes já determinados pelos valores potenciais daqueles que serão determinados em fases subseqüentes. Isto corresponde a que a produtividade que ainda é possível nas fases subseqüentes seja completada sem estresses adicionais. A produtividade potencial atualizada, de uma fase para outra, permanece constante ou declina. Assim:

$$Y_{\text{RAD}} \geq Y_{\text{VEG}} \geq Y_{\text{FLO}} \geq Y_{\text{MAT}} (= Y_{\text{OBS}})$$

$$Y_{\text{RAD}} = \text{NP}_p \times \text{NGP}_{pp} \times \text{MG}_{ppp} \quad (3)$$

$$Y_{\text{VEG}} = \text{NP} \times \text{NGP}_p \times \text{MG}_{pp} \quad (4)$$

$$Y_{\text{FLO}} = \text{NP} \times \text{NGP} \times \text{MG}_p \quad (5)$$

$$Y_{\text{MAT}} = \text{NP} \times \text{NGP} \times \text{MG} \quad (6)$$

em que  $Y_{\text{VEG}}$ ,  $Y_{\text{FLO}}$  e  $Y_{\text{MAT}}$  são as produtividades potenciais na fase vegetativa, floração e maturação, respectivamente, e  $Y_{\text{OBS}}$  é a produtividade observada.

Nestas equações, a um componente que está ainda indeterminado e, portanto, na forma potencial, foi dado o sufixo p, pp ou ppp, se os outros componentes que são ou serão determinados antes do componente considerado, uma, duas ou três fases mais cedo, estão ainda eles mesmos nos seus valores potenciais.

A partir deste conjunto de equações foi analisada a evolução das produtividades potenciais futuras durante o crescimento, e estabelecidos os períodos de estresse que afetaram a cultura, provendo uma base para um diagnóstico.

### ***Índices de realização em fases sucessivas***

Foi definido um índice de realização potencial para cada fase como sendo a razão da produtividade potencial possível no fim desta fase pela existente antes da passagem da fase, isto é, no fim da fase precedente. Assim:

$$\text{IVEG} = Y_{\text{VEG}}/Y_{\text{RAD}} \quad (7)$$

$$\text{IFLO} = Y_{\text{FLO}}/Y_{\text{VEG}} \quad (8)$$

$$\text{IMAT} = Y_{\text{MAT}}/Y_{\text{FLO}} \quad (9)$$

$$\text{IPROD} = \text{IVEG} \times \text{IFLO} \times \text{IMAT} \quad (10)$$

$$Y_{\text{OBS}} = Y_{\text{MAT}} = Y_{\text{RAD}} \times \text{IVEG} \times \text{IFLO} \times \text{IMAT} \quad (11)$$

$$Y_{\text{OBS}} = Y_{\text{RAD}} \times \text{IPROD} \quad (12)$$

em que IVEG, IFLO e IMAT são índices de realização das fases vegetativa, floração e maturação, respectivamente, e IPROD é o índice de produtividade.

A última expressão permite uma clara separação dos efeitos das condições gerais,  $Y_{RAD}$  - isto é, essencialmente parâmetros varietais e radiação e os devidos às condições locais, IPROD – parâmetros de chuva, solo, práticas culturais, incidência de pragas e doenças. Os índices de realização estimam os efeitos dos estresses locais encontrados.

Deve ser observado que os índices não são a razão entre os valores reais e potenciais dos diferentes componentes, mas as razões entre as máximas produtividades que resultam deles; eles levam em conta os possíveis ajustes dos valores potenciais dos componentes formados durante as fases seguintes. Estes índices foram usados para representar as condições de crescimento ao longo do ciclo e identificar a fase mais limitante do crescimento em diferentes tipos de situações encontradas.

Após a determinação dos índices de realização, as parcelas foram reagrupadas de acordo com o valor de IPROD e foi calculado a média e o desvio padrão. Isto permitiu obter mais informação da importância relativa das diferentes fases de desenvolvimento em termos de estresses locais que afetam a produtividade.

### ***Perfis de estresse***

O índice de realização de uma fase reflete a ocorrência e a importância do estresse durante esta fase. Mas, devido a falta de análise estatística, a precisão do índice é desconhecida. O valor somente foi usado como uma indicação da presença ou ausência de um estresse, expresso como um valor de estresse: 0 se o índice ultrapassa um valor limite, indicando que o estresse é negligível, e 1 se o índice está abaixo do valor limite. O valor limite para IPROD foi determinado por um procedimento de tentativa e erro, baseado em um diagrama de dispersão da produtividade de parcelas livres de estresse. O valor limite foi escolhido para minimizar o desvio padrão. Assume-se que, neste caso, a diferença entre parcelas livres de estresse e com estresse é estatisticamente significativa. Este valor também foi aplicado aos demais índices relativos às diferentes fases.

Assim, os valores de estresse de três fases sucessivas, para uma parcela, tomaram os valores a, b, e c, cada um dos quais podendo ser igual a 0 ou 1. Estes três valores formam um número de três dígitos que pode ser considerado como um resumo do histórico da cultura, e é chamado de perfil de estresse.

Como cada fase pode tomar um dos dois estados, estresse ou não-estresse, um perfil de três fases pode tomar  $2^3$  diferentes estados; assim existem oito possíveis tipos de perfil de estresse, cuja frequência e fatores determinantes podem ser analisados em diferentes etapas. Isto permite verificar o histórico da cultura e identificar a presença de condições duradouras dominantes de estresse, como fertilidade do solo, por exemplo.

### ***Estresses localizados dentro de uma fase***

Foram determinadas também as parcelas que sofreram um maior estresse durante uma fase particular. Assume-se que um maior estresse é aplicado durante o decorrer de uma dada fase quando o valor do seu índice de realização é menor que todos os índices de realização das outras fases, exercendo assim o papel principal na determinação do nível de produtividade obtido na parcela. Foi adotado um método que usa uma simples representação gráfica:

Se  $c$  é a fase mais afetada, e  $i$  e  $j$  são as outras duas, tem-se:

$$I_c < I_i, I_j \leq 1$$

Isto é verificado particularmente quando:

$$I_c < I_i \times I_j \leq 1$$

Assim (multiplicando por  $I_c$ )

$$I_c^2 < I_{PROD} \leq 1, \text{ ou mais simplificado } I_c^2 < I_{PROD}$$

Em uma representação gráfica da relação entre o índice de realização da fase  $c$  e o índice de produtividade  $I_{PROD}$ , os pontos dos locais afetados por um estresse transitório durante esta fase estão situados na área entre a parábola  $I_{PROD} = I_c^2$  e a diagonal  $I_{PROD} = I_c$ . Se os pontos estão próximos da parábola indicam que o estresse transitório está frequentemente associado com limitações adicionais da produtividade que ocorrem em outras fases do ciclo. Se os pontos estão alinhados com a diagonal indicam que as perdas de produtividade ocorreram exclusivamente durante esta fase. Aplicando esta representação sucessivamente para as três fases do ciclo, é possível localizar os locais afetados e avaliar o valor do estresse atribuído a cada um.

## Resultados e Discussão

### *Produtividade limitada pela radiação ( $Y_{RAD}$ )*

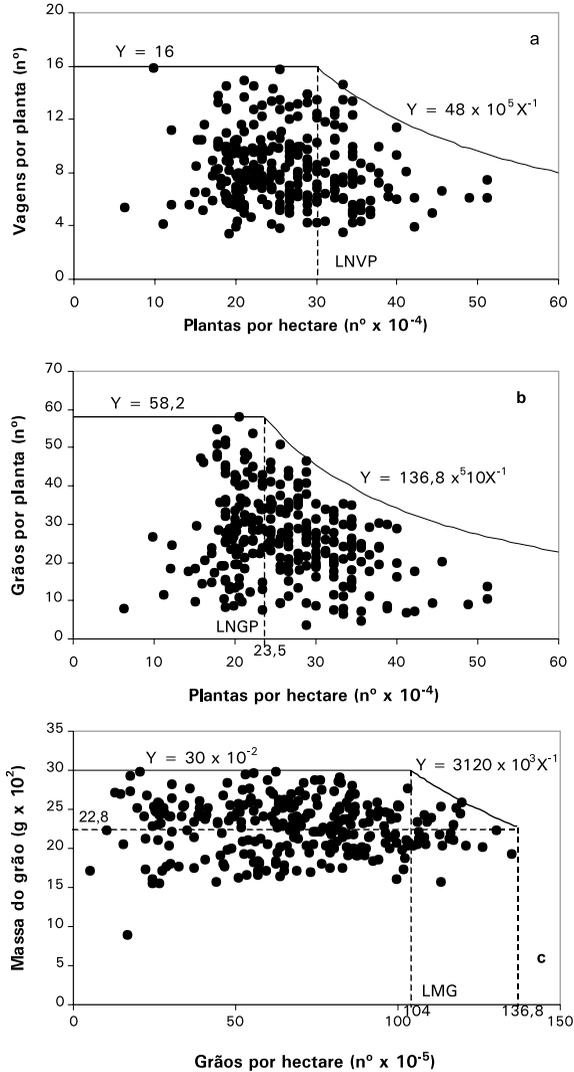
A produtividade máxima observada, 3.120 kg ha<sup>-1</sup>, ficou próxima da produtividade potencial determinada por Meireles et al. (2003) para o município de Santo Antônio de Goiás, para semeaduras no 2º e 3º decêndios de junho, que se situou ao redor de 3.340 kg ha<sup>-1</sup>.

### *Relações entre os componentes da produtividade*

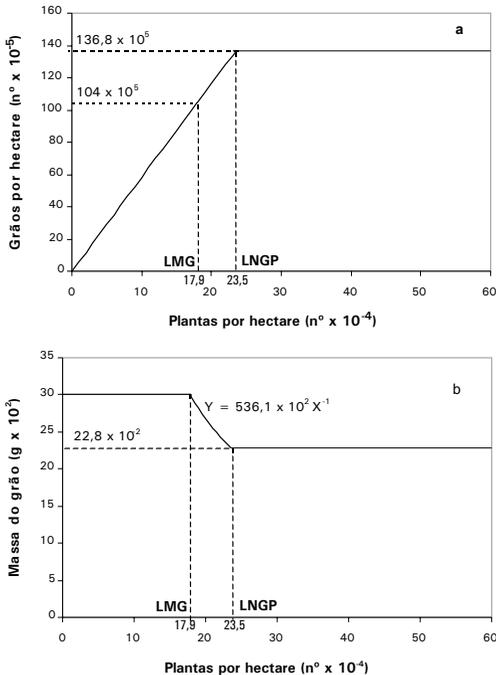
Podem ser observadas na Figura 2 as curvas envoltórias dos pares de componentes da produtividade e os limites de competição estabelecidos para o número de vagens por planta (LNVP), número de grãos por planta (LNGP) e massa dos grãos (LMG).

O número máximo de vagens por planta, 16 (Figura 2a), é constante abaixo da população de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup> (LNVP). De acordo com o modelo, NVP não pode exceder este valor se a população de plantas aumentar mais. Da mesma maneira, o número máximo de grãos por planta, 58,2 (Figura 2b), é constante abaixo da população de 235.000 plantas ha<sup>-1</sup> (LNGP). A máxima massa do grão foi igual a 0,30 g (Figura 2c), sendo constante abaixo de 104 x 10<sup>5</sup> grãos ha<sup>-1</sup>. O valor mínimo da massa do grão foi de 0,228 g, para uma população máxima de 136,8 x 10<sup>5</sup> grãos ha<sup>-1</sup>.

A partir destas relações, outras foram derivadas para descrever a relação de competição com NP. A relação de NG com NP na Figura 3a foi derivada da Figura 2b. Para um dado valor de NP, há um único valor máximo de NG correspondente. Baseado nisto, a relação do limite de competição LMG com NP foi calculada. O valor de NG no qual LMG é alcançado é indicado na Figura 2c; o valor de NP correspondente a este valor de LMG é calculado da Figura 3a. Assim, o limite de competição entre os grãos LMG pode ser expresso não somente como uma função de NG mas também como uma função de NP, sendo a massa do grão máxima e constante abaixo da população de 179.000 plantas ha<sup>-1</sup> (LMG).



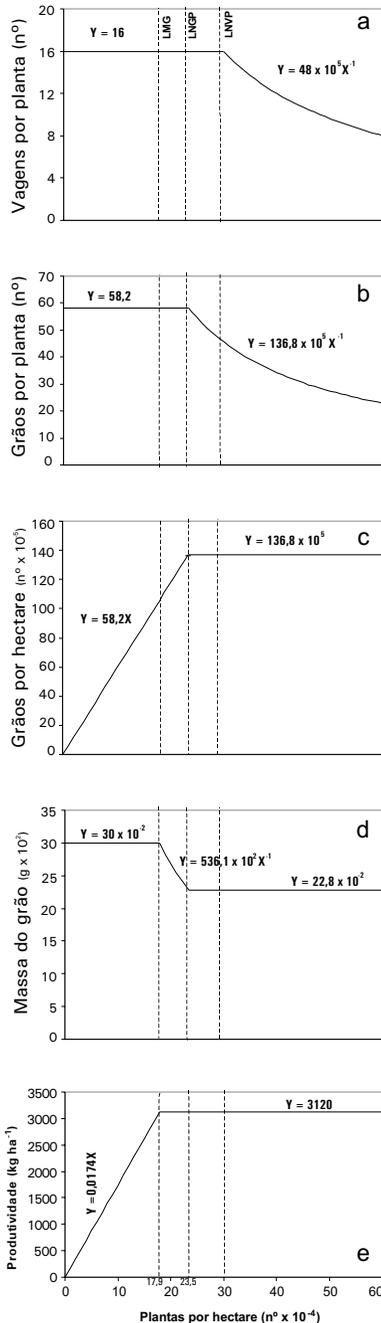
**Fig. 2.** Linhas limites das relações entre componentes da produtividade do feijoeiro. LNVP - limite de competição para o número de vagens por planta, LNGP - limite de competição para o número de grãos por planta e LMG - limite de competição para a massa dos grãos.



**Fig. 3.** Expressão do limite de competição para o número de grãos por planta (LNGP) e para a massa do grão (LMG), e do número de grãos por hectare e da massa dos grãos, como função da população de plantas de feijoeiro.

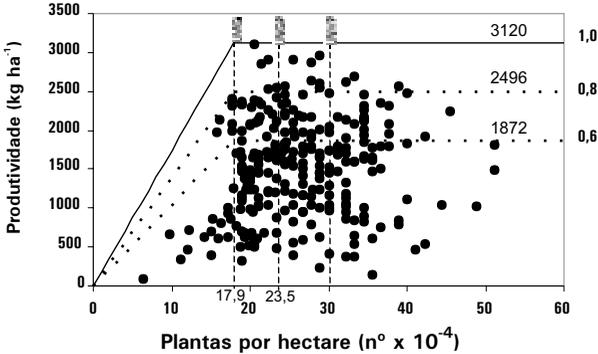
### *Produtividade máxima como função da população de plantas ( $Y_{M/NP}$ )*

As equações estabelecidas e os parâmetros calculados foram usados para descrever a produtividade máxima como uma função da população de plantas (Figura 4). Verifica-se que abaixo de LMG não há competição entre plantas. O número de grãos por planta e a sua massa unitária são independentes da população de plantas, com a qual a produtividade está relacionada linearmente. Entre LMG e LNGP, o número de vagens por planta e o número de grãos por planta permanecem constantes, mas o número de grãos por hectare aumenta com a população de plantas enquanto a massa do grão decresce. A produtividade máxima não aumenta mais. Acima de LNGP, o número de grãos por planta decresce com o aumento da população de plantas, a massa do grão e o número de grãos por hectare estabilizam, e a produtividade é constante. Acima de LNVP, o número de vagens por planta decresce com o aumento da população de plantas, mas sem afetar a produtividade. O platô da curva de produtividade corresponde ao maior valor máximo da produtividade, o qual teoricamente é igual a produtividade devida à radiação.



**Fig. 4.** Comportamento dos vários parâmetros identificados na relação com a população de plantas de feijoeiro. LMG - limite de competição para a massa dos grãos, LNCP - limite de competição para o número de grãos por planta e LNVP - limite de competição para o número de vagens por planta.

A curva calculada para a produtividade máxima a partir da população de plantas foi comparada com a produtividade observada (Figura 5). A nuvem de dados foi subdividida em setores de acordo com a redução relativa da produtividade em relação ao máximo ( $< 1,0$ ;  $< 0,8$ ;  $< 0,6$  de  $Y_{MAX}$ ) e os limites de competição. As maiores produtividades foram observadas em populações de plantas entre 210.000 e 290.000 plantas  $ha^{-1}$ , próximas aos limites de competição LNCP e LNVP. Esta faixa de valores inclui a população de plantas recomendada pela pesquisa, que situa-se ao redor de 240.000 plantas  $ha^{-1}$  (Silva, 1996). Com três exceções, o valor de  $0,8Y_{MAX}$  só foi excedido entre LMG e LNVP, e o de  $0,6Y_{MAX}$ , com duas exceções, só foi excedido acima de LMG. Em somente 6% das parcelas a produtividade superou  $0,8Y_{MAX}$  e, em 25%, situou-se entre  $0,6$  e  $0,8Y_{MAX}$ .



**Fig. 5.** Produtividades de feijoeiro medidas e máxima calculada. Distribuição em relação aos limites de competição e à porcentagem de atingimento da produtividade teórica. LMG - limite de competição para a massa dos grãos, LNVP - limite de competição para o número de grãos por planta e LNGP - limite de competição para o número de vagens por planta.

### *Índices de realização em fases sucessivas*

Os dados da Figura 2 foram utilizados para cálculo dos valores potenciais dos componentes da produtividade em relação à população de plantas. Assim, foram obtidas as seguintes relações:

$$\text{Se } NP < 235.000 \Rightarrow NGP = 58,2$$

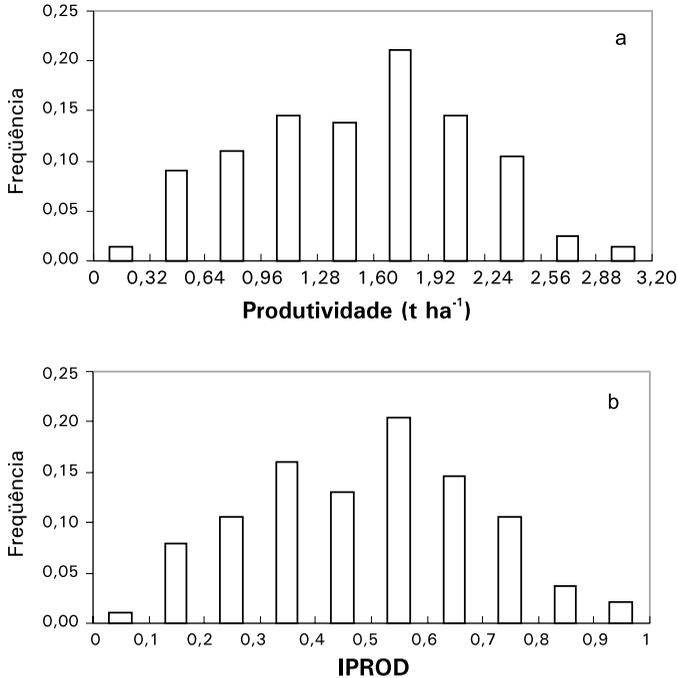
$$\text{Se } NP \geq 235.000 \Rightarrow NGP = 136,8 \times 10^5 / NP$$

$$\text{Se } (NP \times NGP) < 104 \times 10^5 \Rightarrow MG = 0,30$$

$$\text{Se } (NP \times NGP) \geq 104 \times 10^5 \Rightarrow MG = 3120 \times 10^3 / (NP \times NGP)$$

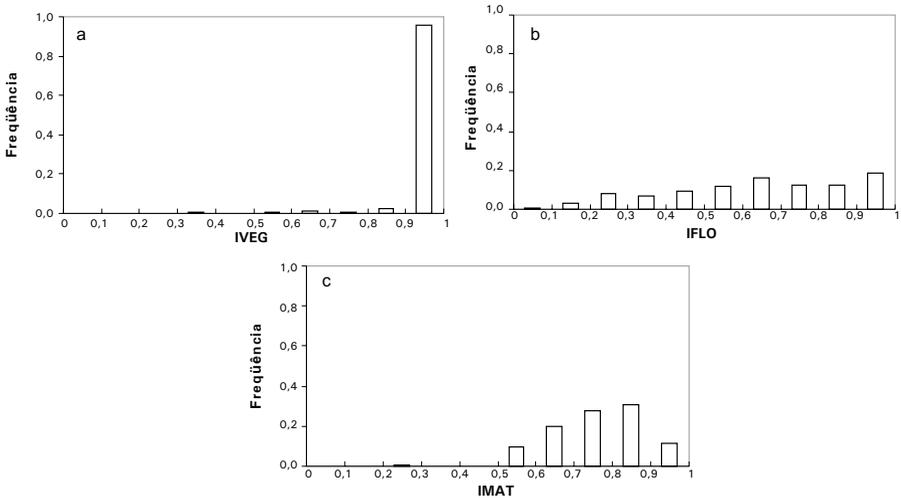
Com base nestas relações, foram calculadas  $Y_{VEG}$  e  $Y_{FLO}$  e, posteriormente, IVEG, IFLO, IMAT e IPROD.

As produtividades observadas variaram de cerca de 0,09 a 3,12 t, sendo mais freqüentes as que se situaram entre 1,60 e 1,92 t (Figura 6a), correspondendo a classe de índice de produtividade de 0,5-0,6 (Figura 6b).



**Fig. 6.** Distribuição da (a) produtividade de grãos do feijoeiro e do (b) índice de produtividade (IPROD).

Comparando-se as fases (Figura 7), observa-se que ocorreu menos estresse na fase vegetativa (Figura 7a). A fase de floração foi a mais afetada (Figura 7b), sendo completada satisfatoriamente (índice > 0,80, Tabela 1) em cerca de 30% dos casos. Esta foi também a fase que exibiu maior variação no índice, com perdas variando de 0 a mais de 90%. As perdas na fase de maturação situaram-se entre 0 e 50% (Figura 7c). Os estresses foram devidos à irrigação com lâminas de água deficitárias, a partir dos dez dias após a emergência, e à adubação em cobertura com subdoses de nitrogênio, realizadas em parte das parcelas. A menor influência da fase vegetativa e maior da floração na determinação da produtividade do feijoeiro em condições de estresse hídrico está de acordo com Calvache et al. (1997).



**Fig. 7.** Distribuição freqüencial dos índices de realização de cada fase. IVEG, IFLO e IMAT - índices de realização da fase vegetativa, floração e maturação, respectivamente.

**Tabela 1.** Média e desvio padrão do índice de produtividade aplicável a um grupo de parcelas supostamente livres de estresse, como uma função do limite selecionado para defini-las.

<i>Índice</i>	<i>Valor médio e desvio padrão</i>				
Limite <sup>1</sup>	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
% de parcelas	0,36	2,18	2,55	5,82	10,55
Média de IPROD <sup>2</sup>	0,996	0,942	0,931	0,871	0,825
Desvio	0	0,029	0,039	0,060	0,067

<sup>1</sup> No limite de 0,80 o aumento no desvio padrão indica a inclusão de parcelas que sofreram estresse.

<sup>2</sup> IPROD - índice de produtividade.

Os índices de realização apresentaram variações muito distintas em relação à IPROD e, conseqüentemente, em relação à produtividade (Tabela 2). Os índices mais baixos (classe 1) corresponderam a condições limitantes em todas as fases do ciclo, mas os efeitos foram mais marcantes na floração. A partir da classe 2, não houve limitação à produtividade na fase vegetativa (índice > 0,80). Com o aumento da produtividade, o IFLO aumentou rapidamente, atingindo o nível satisfatório a partir da classe 7. O IMAT se manteve mais ou menos constante da classe 2 a 7, atingindo nível satisfatório a partir da classe 8. A partir da classe 7, IFLO passou a ser maior que IMAT. Assim, para obtenção das maiores produtividades foi mais importante o completo enchimento dos grãos que a formação dos mesmos.

**Tabela 2.** Valores médios (e desvio padrão) da realização da fase para índices crescentes de produtividade, para dez classes das 275 parcelas.

Índice <sup>1</sup>	Valor médio e desvio padrão									
IPROD	0,049 (0,023)	0,156 (0,030)	0,239 (0,029)	0,349 (0,032)	0,459 (0,026)	0,548 (0,025)	0,656 (0,029)	0,749 (0,027)	0,829 (0,017)	0,942 (0,029)
IVEG	0,784 (0,375)	0,955 (0,109)	0,950 (0,110)	0,998 (0,009)	1,000 (0)	1,000 (0)	0,994 (0,025)	0,999 (0,003)	1,000 (0)	1,000 (0)
IFLO	0,131 (0,033)	0,232 (0,048)	0,348 (0,084)	0,503 (0,085)	0,608 (0,086)	0,741 (0,109)	0,856 (0,098)	0,907 (0,083)	0,989 (0,018)	0,998 (0,004)
IMAT	0,539 (0,226)	0,729 (0,156)	0,754 (0,118)	0,709 (0,107)	0,767 (0,102)	0,754 (0,105)	0,779 (0,088)	0,832 (0,070)	0,838 (0,016)	0,943 (0,028)

<sup>1</sup>IPROD - índice de produtividade, IVEG, IFLO e IMAT - índices de realização da fase vegetativa, floração e maturação, respectivamente.

Quanto mais pronunciadas as condições de estresse em uma fase, mais pronunciadas elas são nas outras fases; elas não são independentes. Quando IPROD ou a produtividade cresce, os índices das fases alcançam seu máximo aproximadamente na ordem cronológica das fases. IFLO foi mais baixo que IMAT nas seis primeiras classes, mas cresceu e alcançou seu máximo mais rapidamente. A queda na produtividade de uma parcela é maior quando ela é submetida precocemente ao estresse.

O desvio padrão dos índices das fases vegetativa e de maturação foram da mesma ordem para as menores produtividades e maiores que os da fase de floração, diminuindo rapidamente com o aumento da produtividade, especialmente o da fase vegetativa. O desvio padrão do índice de floração foi menor para as duas maiores e as duas menores produtividades, e apresentou valor mais ou menos constante para as demais produtividades.

### ***Perfis de estresse***

Dos oito possíveis perfis de estresse, dois não ocorreram, estresse só na fase vegetativa ou nesta e na maturação (Tabela 3). Do total das parcelas avaliadas, 12% não apresentaram estresse e apenas 2,2% apresentaram populações de plantas que prejudicaram o alcance da produtividade máxima (primeiro dígito igual a 1). Isto era de se esperar, uma vez que os estresses foram impostos após o estabelecimento da cultura, que foi feito com a população de plantas recomendada pela pesquisa. Estresse apenas na fase de floração foi verificado em 29,1% das parcelas, apenas na maturação em 19,3% e em ambas as fases em 37,4%. Este

último caso, ocorrência de estresse em duas fases consecutivas, pode indicar a condição dominante de estresse permanente, que pode resultar de diferentes tipos de fatores: fatores duráveis, ou fatores com um efeito posterior durável, ou uma série contínua de diferentes fatores sucessivos. No caso, os estresses foram de água, a partir dos dez dias após a emergência até o final do ciclo ou até o final da fase vegetativa, e de nitrogênio, do final da fase vegetativa até o final do ciclo. De maneira geral, quanto menor o índice de realização na fase vegetativa, menor o índice na floração, mostrando que uma baixa população de plantas não reduziu o efeito do estresse na floração. Nos perfis com estresse nas duas últimas fases (011 e 111), o IFLO foi menor que IMAT. Entretanto, no perfil mais favorável (000), o índice médio de realização na maturação foi menor que os índices precedentes.

**Tabela 3.** Lista de perfis de estresse, frequência e média dos índices por tipo de perfil.

Perfil <sup>1</sup>	Número	Índice de realização <sup>2</sup>			IPROD <sup>3</sup>
		IVEG	IFLO	IMAT	
000	33	0,993	0,926	0,863	0,794
001	53	1,000	0,913	0,690	0,630
010	80	0,990	0,511	0,870	0,440
011	103	0,998	0,550	0,679	0,373
100	0	-	-	-	-
101	0	-	-	-	-
110	4	0,659	0,347	0,848	0,194
111	2	0,511	0,226	0,640	0,074
<b>Total</b>	<b>275</b>	<b>0,987</b>	<b>0,648</b>	<b>0,761</b>	<b>0,488</b>

<sup>1</sup>O perfil de estresse é um número no qual os dígitos fornecem informação sobre cada fase do crescimento. Se o índice da fase é maior que 0,80, é assumido que não houve estresse, e o dígito correspondente é zero. Se o índice é menor que 0,80, é assumido que houve estresse, e o dígito é um.

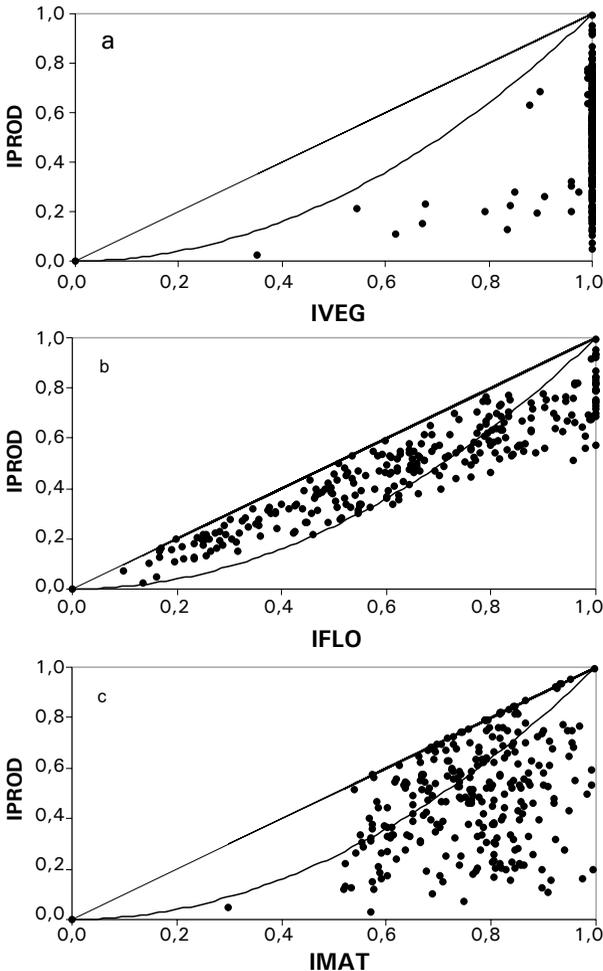
<sup>2</sup>IVEG, IFLO e IMAT - índices de realização da fase vegetativa, floração e maturação, respectivamente.

<sup>3</sup>IPROD - índice de produtividade.

### ***Estresses localizados dentro de uma fase***

Pode ser observado na Figura 8 a relação entre o índice de realização da fase e o índice de produtividade, para cada uma das três fases. Quando um estresse afeta uma parcela em uma fase particular, pronunciado estresse transitório, o ponto que a representa situa-se entre a diagonal e a parábola. Assim, uma baixa população de plantas nunca esteve associada com condições adequadas de crescimento, pois não há pontos acima da parábola (Figura 8a). Cerca de 71% das parcelas foram afetadas por estresse na fase de floração, estando os pontos localizados acima da parábola (Figura 8b). Destes, o mais baixo valor de IFLO foi 0,1 e o mais alto situou-se ao redor de 0,8. Os pontos situaram-se tanto próximos da parábola, indicando que em algumas parcelas o estresse na floração esteve frequentemente associado com

limitações adicionais da produtividade que ocorreram em outras fases do ciclo, como próximos da diagonal, indicando que em outras parcelas o estresse ocorreu inteiramente na floração. Apenas cerca de 28% das parcelas foram afetadas por estresse que ocorreu na fase de maturação (Figura 8c). Nestas, o mais baixo valor de IMAT foi cerca de 0,5 e o mais alto próximo de 0,9. Grande parte dos pontos situaram-se próximos da diagonal, indicando que a perda de produtividade ocorreu exclusivamente durante esta fase.



**Fig. 8.** Identificação gráfica dos locais que sofreram estresse severo durante uma das três fases. IVEG, IFLO e IMAT - índices de realização da fase vegetativa, floração e maturação, respectivamente.

## Conclusões

1. Quanto mais tarde no ciclo for o período de formação do componente da produtividade do feijoeiro, mais baixa é a população de plantas na qual ele é submetido à competição. Isto pode ser explicado pelo fato que a competição aumenta ao longo do ciclo de crescimento, devido ao tamanho da planta, depleção de recursos no solo e senescência das folhas após a floração.
2. A produtividade máxima do feijoeiro pode ser alcançada em uma ampla faixa de populações de plantas devido a capacidade compensatória dos componentes da produtividade. Abaixo desta faixa, a produtividade correlaciona-se positivamente com a população de plantas, sem a possibilidade de compensação.
3. O método estudado permite identificar a ocorrência de estresses em lavouras de feijoeiro e estimar a sua importância.
4. A produtividade do feijoeiro é mais afetada pelo estresse ocorrido durante a floração.
5. Baixa população de plantas não contribui para minimizar o efeito do estresse na floração do feijoeiro.
6. Para a obtenção das maiores produtividades é mais importante o enchimento completo dos grãos do feijão do que a sua formação.

## Referências Bibliográficas

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. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p. 232-240, set./dez. 1997.

MEIRELES, E. J. L.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Risco climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003.

SIBAND, P.; WEY, J.; OLIVER, R.; LETOURMY, P.; MANICHON, H. Analysis of the yield of two groups of tropical maize cultivars. Varietal characteristics, yield potentials, optimum densities. **Agronomie**, Paris, v. 19, n. 5, p. 379-394, 1999.

SILVA, C. C. da. Estabelecimento da cultura. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Ed.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p. 417-432.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 835-841, abr. 2000.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 473-481, mar. 2001.

WEY, J.; OLIVER, R.; MANICHON, H.; SIBAND, P. Analysis of local limitations to maize yield under tropical conditions. **Agronomie**, Paris, v. 18, n. 8/9, p. 545-561, 1998.