

ISSN 1678-2518

Dezembro, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*** 172

## **Tolerância ao Encharcamento em Genótipos de Soja**

Francisco de Jesus Verneti Junior  
Luis Osmar Braga Schuch  
Marcos Ludwig

Pelotas, RS  
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado  
Endereço: BR 392 Km 78  
Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS  
Fone: (53) 3275-8199  
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221  
Home page: www.cpact.embrapa.br  
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade  
Presidente: Ariano Martins de Magalhães Júnior  
Secretária-Executiva: Joseane Mary Lopes Garcia  
Membros: Márcia Vizzotto, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio  
Suíta de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro Bertoldi,  
Regina das Graças Vasconcelos dos Santos.  
Suplentes: Isabel Helena Verneti Azambuja, Beatriz Marti Emygdio

Supervisão editorial: Antônio Luiz Oliveira Heberlê  
Revisão de texto: Bárbara Chevallier Cosenza  
Normatização bibliográfica: Regina Vasconcelos  
Editoração eletrônica e capa: Antônio Wiener Reisser

1a edição  
1a impressão (2012): 100 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 Clima Temperado**

---

Tolerância ao encharcamento em genótipos de soja / Francisco de Jesus  
Verneti Júnior, Luis Osmar Braga Schuch e Marcos Ludwig. – Pelotas: Embrapa Clima  
Temperado, 2012.

26 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento,  
1678-2518, \_\_\_)

1. Soja. 2. Índices de tolerância. 3. Excesso hídrico. I. Verneti Júnior, Francisco  
de Jesus. II. Schuch, Luis Osmar Braga. III. Ludwig, Marcos. IV. Série.

CDD 633.34

---

© Embrapa 2012

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	7
1. Introdução .....	9
2. Material e Métodos .....	11
3. Resultados .....	15
4. Conclusão .....	21
5. Referências .....	22



# Tolerância ao Encharcamento em Genótipos de Soja

---

*Francisco de Jesus Vernetti Junior<sup>1</sup>*

*Luis Osmar Braga Schuch<sup>2</sup>*

*Marcos Paulo Ludwig<sup>3</sup>*

## RESUMO

A cultura da soja tem aumentado em área e importância nas várzeas, local onde a ocorrência de níveis extremos de umidade no solo é uma realidade. Dessa forma, avaliou-se na Embrapa Clima Temperado a sensibilidade de 24 genótipos de soja ao excesso de água em duas situações: alagamento (lâmina de água) por 5 dias e ausência de estresse. Utilizaram-se os indicadores de tolerância: a) Índice de suscetibilidade ao estresse (ISE); b) Tolerância (TOL); c) Produtividade média (PM); d) Índice de tolerância ao estresse (ITE); e) Índice de estabilidade (Pi). A elevada correlação positiva entre PM e ITE com Rp sugere que o critério de avaliação desses índices são eficientes para identificar cultivares superiores. A

---

<sup>1</sup> Eng.-agrôn., D.Sc., pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil, francisco.vernetti@embrapa.br.

<sup>2</sup> Eng.-agrôn., D.Sc., professor da Faculdade Agronomia de Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, RS, Brasil, lobs@ufpel.edu.br.

<sup>3</sup> Eng.-agrôn., D.Sc., professor do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá, plmarcos1@yahoo.com.br.

análise da variabilidade genética para tolerância ao excesso hídrico mostrou que o genótipo BRS 246 RR se destacou, apresentando a menor sensibilidade ao excesso hídrico e, junto com BRS Pala, BRS 244 RR, BRS Cambona e FT Abyara, faz parte do grupo de menor sensibilidade àquele. Os genótipos BRS 154, CD 213, BRS 211, Fundacep 56 RR e BRS 255 RR apresentaram a maior sensibilidade ao excesso de água.

Termos para indexação: cultivares; índices de tolerância, excesso hídrico.

# Flooding Tolerance in Soybean Genotypes

---

*Francisco de Jesus Vernetti Junior<sup>1</sup>*

*Luis Osmar Braga Schuch<sup>2</sup>*

*Marcos Paulo Ludwig<sup>3</sup>*

## ABSTRACT

The soybean crop has increased in size and importance in the floodplains, where the occurrence of extreme levels of moisture in the soil is a reality. Thus, it was evaluated at Embrapa Clima Temperado the sensitivity to excess of water in 24 soybean genotypes in two situations: flooding for 5 days and the absence of stress. The stress tolerance indices used were: a) Susceptibility Stress Index (ISE); b) Tolerance (TOL); c) Mean Productivity (PM); d) Stress Tolerance Index (ITE); and e) Stability Index (Pi). The highly positive correlation between PM and ITE to  $R_p$  suggests that the criterion for evaluating these indices is efficient for the identification of superior cultivars. The genetic variability for tolerance to excess of water in soybean showed that the genotype BRS 246 RR stood out, with the lowest sensitivity to water excess, and alongside BRS Pala, BRS 244 RR, BRS Cambona and FT Abyara, is part of the lower sensitivity group. The greatest sensitivity to the excess of water was observed in the genotypes

BRS 154, CD 213, BRS 211, 56 Fundacep RR, BRS 255 RR.

Index terms: cultivars, tolerances indices, excess of water.



## INTRODUÇÃO

A inundação ou encharcamento periódicos do solo afetam negativamente o crescimento e a produtividade das culturas, principalmente as mais sensíveis. No Rio Grande do Sul existem cerca de 5,4 milhões de hectares de solos sujeitos a encharcamento (PINTO et al., 1999). A diversificação ou incorporação de novas culturas às áreas de várzea, que em geral estão sujeitas aos fenômenos acima mencionados, tem sido uma forma de aumentar a eficiência do sistema produtivo. Esse procedimento vem sendo implementado com a cultura da soja, a qual tem aumentado em área e importância no sul do estado, passando a compor sistemas em extensões tradicionalmente ocupados pela pecuária e em rotação com o arroz irrigado (THEISEN, et al., 2008).

A soja é uma espécie relativamente tolerante (LAWN; BYTH, 1979; NATHANSON et al., 1984) e também capaz de aclimatar-se ao encharcamento (HUNTER et al., 1980; NATHANSON et al., 1984). A ocorrência de níveis extremos de umidade no solo leva à necessidade de utilizarem-se cultivares de soja com qualidades especiais de adaptação (GASTAL et al., 1998; 1999). Embora a soja tenha sido, de maneira geral, melhorada para as condições de solo bem drenado, é uma espécie originária de áreas alagadiças do norte da China (EVANS, 1996) e, provavelmente, conserva em seu germoplasma genes capazes de permitir sua adaptação ao encharcamento. Thomas (2008) informa que existem genótipos de soja com potencial para tolerar o excesso de umidade no solo.

A seleção para tolerância ao estresse é complicada pela falta de técnicas rápidas e reproduzíveis de triagem e, também, pela incapacidade de rotineiramente criar, definir e repetir as condições de estresse, para eficientemente avaliar uma grande quantidade de genótipos (RAMIREZ-VALLEJO; KELLY, 1998).

A variabilidade dos dados de rendimento obtidos entre os genótipos sob condições de estresse torna difícil identificar linhagens superiores. Considerando que o estresse hídrico reduz a produção e gera um nível adicional de variabilidade, o poder de identificação dos genótipos destaques é baixo através da estatística tradicional, devido aos altos valores da variância do erro e do coeficiente de variação (CV). Incluir um maior número de repetições é uma possível solução, mas os recursos adicionais que seriam necessários poderiam torná-la impraticável. Confiar apenas na diferença estatística entre os genótipos pode reduzir drasticamente a identificação de linhagens elites que possam demonstrar superioridade quando o experimento apresenta CV mais baixo. Posicionar genótipos com base no desempenho oferece uma oportunidade de identificar as linhagens de maiores rendimentos num teste individual e continuar a avaliar os mesmos genótipos, através de testes adicionais (FRAHM et al, 2004).

Assim, índices que fornecem uma medida com base na perda de rendimento de grãos em condições de estresse, em comparação às condições normais, têm sido utilizados para seleção de genótipos tolerantes (MITRA, 2001). Os diversos índices existentes vêm sendo aplicados aos mais diferentes objetivos de

avaliação de tolerância ao estresse. Burke et al. (1990) utilizaram um índice térmico para avaliar a tolerância do algodão às altas temperaturas. Fernandez (1993) utilizou a média geométrica (MG) e o índice de tolerância ao estresse (ITE) para comparar o desempenho genotípico em anos ou ambientes. Segundo este autor, os genótipos podem ser classificados em quatro grupos, em função de seu desempenho em ambientes de presença e ausência de estresse: os do grupo A teriam um desempenho uniformemente superior nos dois ambientes; os do grupo B teriam um desempenho favorável apenas no ambiente sem estresse; os do grupo C seriam aqueles que apresentassem melhor performance apenas nos ambientes com estresse; e aqueles que apresentam pior desempenho, tanto num como noutro tipo de ambiente, pertenceriam ao grupo D. O melhor critério de seleção deve ser aquele capaz de distinguir os genótipos do grupo A. Entretanto, indicadores de tolerância como TOL (compara as modificações ocorridas no rendimento de grãos entre ambientes com e sem estresse), produtividade média (PM) e ITE, falham na identificação de genótipos classificados como grupo A. O autor sugere que o ITE seria capaz de identificar os materiais pertencentes àquele grupo. Fischer e Maurer (1978) desenvolveram o Índice de suscetibilidade ao estresse (ISE). A MG e o ISE têm sido amplamente utilizados para a determinação de diferenças genotípicas ao estresse hídrico em feijão comum (RAMIREZ-VALLEJO; KELLY, 1998). Segundo Porch (2006), esses índices podem ser aplicáveis a outras áreas relacionadas aos estresses abióticos. Singh et al. (2011) utilizaram esses índices para apurar a resistência de genótipos de sorgo ao

ataque de lagarta-broca (*Chilo partellus* (Lepidoptera: Noctuidae)). Para Khalili et al. (2004 citados por NAZARI; PAKNIYAT, 2010) e Jafari et al. (2009), é necessário apurar índices de seleção capazes de identificar as melhores cultivares de milho produzidas em condições ambientais de estresse.

Em função do exposto, este trabalho teve como objetivo identificar cultivares de soja conforme sua tolerância ou sensibilidade ao encharcamento do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de campo foi conduzido no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, RS, em Planossolo Háplico Eutrófico Solódico. Avaliou-se a sensibilidade ao excesso de água de 24 genótipos de soja, no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições sob duas situações: estresse por 5 dias de alagamento (5 cm de lâmina de água no solo) e ausência de estresse (sem alagamento), ambos os manejos com irrigação suplementar sempre que necessário (tensão de 0,6 atm.). As parcelas foram constituídas de 4 fileiras de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,5 m, com área útil de 4 m<sup>2</sup>.

O rendimento de grãos foi registrado após a colheita realizada na maturidade. Os termos "Rp" e "Rs" são os rendimentos individuais de cada cultivar medidos sob condições de ausência e

de presença de estresse, respectivamente. Da mesma forma  $(\overline{Rp})$  e  $(\overline{Rs})$  são as médias dos rendimentos obtidos entre todas as cultivares, na ausência e na presença de estresse, respectivamente. As medidas dos indicadores de tolerância ao estresse foram obtidas conforme a metodologia a seguir: a) Intensidade de estresse:  $IE = [1 - (\overline{Rp}) / (\overline{Rs})]$ ; b) Índice de suscetibilidade ao estresse (ISE) =  $[1 - Rs / Rp] / IE$  (FISCHER; MAURER, 1978); c) Tolerância (TOL) =  $Rp - Rs$  (ROSIELLE; HAMBLIN, 1981); d) Produtividade média (PM) =  $(Rp + Rs) / 2$  (ROSIELLE; HAMBLIN, 1981); e) Índice de tolerância ao estresse ITE =  $(Rp) \cdot (Rs) / (\overline{Rp})^2$  (FERNANDEZ, 1993).

Além dos índices acima, foram calculados os parâmetros de estabilidade de Lin e Binns (1988), utilizando-se a seguinte expressão:  $(Pi) = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n}{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n}$ , em que:

Pi: índice de estabilidade da cultivar "i", ou seja, mede o desvio da produtividade de uma dada cultivar em relação ao máximo, em cada um dos "j" ambientes;  $Y_{ij}$ : produtividade da cultivar "i" no ambiente "j";  $M_j$ : produtividade da cultivar com resposta máxima entre todas as cultivares no ambiente "j"; n: número de ambientes.

A análise da variância, comparação de médias, análises de correlações e análise de componentes principais foram realizadas com software "SAS for Windows 9.1". Da mesma forma os genótipos foram classificados em grupos de classes similares através da distância Euclidiana. Utilizou-se o teste de comparação de médias de Scott & Knott, tendo em vista o grande número de

genótipos e para evitar a apresentação de resultados ambíguos, conforme Canteri et al. (2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rendimentos de grãos de soja com e sem estresse por alagamento e os índices de sensibilidade ao excesso de água de cada cultivar se encontram na Tabela 1. O teste de comparação de médias separa em dois grandes grupos os rendimentos de grãos Rp e Rs e todos os índices de sensibilidade utilizados, exceto Pi, que fica dividido em 3 grupos. O estresse por excesso hídrico reduziu em 30% a média de rendimento de grãos dos genótipos.

O reconhecimento de tolerância a estresses é complexo e diferentes fatores afetam o seu estudo, muitas vezes com resultados contraditórios. Assim, Hassanzadeh et al (2009) propõem o uso de análise de correlação entre os rendimentos obtidos na presença (Rs) e na ausência (Rp) de estresse com índices quantitativos de sensibilidade ao mesmo, para que através desses sejam selecionados genótipos superiores. Geralmente, índices que apresentam alta correlação com rendimento de grãos (tanto Rs, como Rp) são considerados os melhores, porque podem indicar genótipos com altos rendimentos nas duas situações ambientais (FERNANDEZ, 1993). Sneller e Dombek (1997) obtiveram melhores rendimentos de grãos sob condições de

estresse a partir de genótipos de soja selecionados em ensaios sem estresse (irrigados).

A fim de identificar o índice de sensibilidade mais criterioso para avaliação do estresse por excesso hídrico, calculou-se os coeficientes de correlação entre  $R_p$ ,  $R_s$  e os demais índices aqui considerados (Tabela 2). Os coeficientes de correlação entre  $R_p$  e alguns dos índices utilizados foram significativos enquanto que com  $R_s$  todos os índices de sensibilidade se correlacionaram significativamente (Tabela 2). Verifica-se uma correlação positiva de  $R_p$  com TOL, PM e ITE e, negativamente, com  $P_i$ . Por outro lado,  $R_s$  apresenta uma associação positiva e significativa com PM e ITE e negativa a ISE, TOL e  $P_i$ . Em condições de estresse o ITE se apresentou como o melhor preditor para rendimento (maior correlação), semelhante ao verificado por Fernandez (1993), Nazari e Pakniyat (2010), Khayatnezhad et al (2010). A significativa e elevada correlação entre ITE e PM igualmente vem ao encontro do afirmado anteriormente, fato também já observado por Talebi et al. (2009). A correlação positiva entre TOL e  $R_p$ , e negativa entre TOL e  $R_s$ , sugerem que a indicação de tolerância baseada nesse índice resultaria em cultivares com menores rendimentos na ausência de estresse, resultado semelhante aos obtidos por Clarke et al (1992), Sio-Se Mardeh et al (2006) e Khayatnezhad et al (2010).

**Tabela 1.** Rendimentos de grãos das cultivares de soja na ausência de estresse (Rp), submetidos a estresse (Rs) e índices de tolerância ao estresse por encharcamento do solo.

GENÓTIPOS		Rp	Rs	ISE	TOL	PM	ITE	Pi/100
BRS 211 RR	1	2072 b1	1542 b	0.83 b	530 b	1807 b	0.57 b	20578 b
BRS 243 RR	2	1963 b	1967 a	-0.04 b	-4 b	1965 b	0.70 b	16479 b
BRS 255 RR	3	1689 b	1425 b	0.50 b	264 b	1557 c	0.43 b	27889 a
BRS Macota	4	2461 a	885 b	2.04 a	1576 a	1673 c	0.35 b	23933 a
CD 213	5	1820 b	1253 b	1.06 a	567 b	1536 c	0.42 b	29084 a
CD 221	6	2142 b	2227 a	-0.25 b	-85 b	2185 a	0.84 a	11047 c
Fundacep 56 RR	7	2076 b	1114 b	1.41 a	961 a	1595 c	0.39 b	26847 a
IAS-5	8	2223 b	1708 b	0.68 b	516 b	1966 b	0.67 b	15965 b
BRS 154	9	2251 b	1675 b	0.67 b	576 b	1963 b	0.65 b	16111 b
BRS 244 RR	10	2579 a	2124 a	0.58 b	454 b	2352 a	1.00 a	9065 c
BRS 246 RR	11	2738 a	2259 a	0.53 b	479 b	2498 a	1.10 a	5434 c
BRS Charua RR	12	2520 a	1597 b	1.25 a	923 a	2059 b	0.74 b	14649 c
BRS Fepagro 24	13	2595 a	1310 b	1.79 a	1285 a	1952 b	0.65 b	19151 b
BRS Sinuelo	14	2242 b	1185 b	1.69 a	1057 a	1713 c	0.52 b	25610 a
BRS Taura RR	15	2435 a	1159 b	1.87 a	1277 a	1797 b	0.54 b	22001 b
BRS Tebana	16	2459 a	1504 b	1.06 a	956 a	1981 b	0.63 b	16342 b
BRS Cambona	17	3000 a	1677 b	1.38 a	1323 a	2339 a	0.86 a	8019 c
BRS Pala	18	2832 a	2419 a	0.46 b	414 b	2626 a	1.22 a	3773 c
BRS Pampa RR	19	2422 a	2161 a	0.28 b	262 b	2291 a	0.93 a	8672 c
CD 219 RR	20	2455 a	1270 b	1.63 a	1185 a	1862 b	0.55 b	18827 b
CL 9920	21	2394 a	2209 a	0.23 b	185 b	2302 a	0.94 a	9540 c
CLBRS 9911	22	2345 a	2089 a	0.39 b	256 b	2217 a	0.89 a	12005 c
FT-Abyara	23	2704 a	1930 a	0.92 b	773 a	2317 a	0.92 a	8444 c
Fundacep 59 RR	24	2565 a	1256 b	1.58 a	1309 a	1910 b	0.54 b	17212 b
Média		2374	1664	0,94	708,9	2019	0,71	16111
Teste F	GL	**	**	**	**	**	**	**
Q.M. Genotipo	23	392169	774895	1,612	868370	366228	0,2193	213858714
Q.M. Erro	69	110008	183564	0,688	347225	59964	0,0359	45485750
CV (%)		13,9	25,7	88,2	83,0	12,1	26,7	41,8

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (Scott & Knott - 0,05%).

(ISE) =  $[1 - R_s / R_p] / IE$ ; (TOL) =  $R_p - R_s$ ; (PM) =  $(R_p + R_s) / 2$ ;

(ITE) =  $(R_p) \cdot (R_s) / (\overline{R_p})^2$ ; (Pi) =  $\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n$

$\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n$



**Tabela 2.** Coeficientes de correlação entre os rendimentos de grãos de soja observados na ausência de estresse (Rp), submetidos a estresse (Rs) e índices de tolerância ao encharcamento do solo.

	Rp	Rs	ISE	TOL	PM	ITE
Rp	1,00					
Rs	0,27	1,00				
ISE	0,25	-0,85**	1,00			
TOL	0,41*	-0,76**	0,96**	1,00		
PM	0,71**	0,87**	-0,48*	-0,33	1,00	
ITE	0,60**	0,922**	-0,58**	-0,46*	0,98**	1,00
Pi	-0,70**	-0,85**	0,50*	0,33	-0,98**	-0,95**

\* Significativo 5%; \*\* significativo 1%.\*

**Tabela 3.** Quantificação dos dois primeiros componentes em função dos índices de tolerância ao encharcamento medidos na soja.

	% da variação total	Índices						
		Rp	Rs	ISE	TOL	PM	ITE	Pi
CP1	68,93	0,45	0,98	-0,73	-0,62	0,95	0,97	-0,94
CP2	30,15	0,89	-0,20	0,66	0,78	0,32	0,18	-0,31

$$(ISE) = [1 - Rs / Rp] / IE; (TOL) = Rp - Rs; (PM) = (Rp + Rs)/2;$$

$$(ITE) = (Rp) \cdot (Rs) / (\overline{Rp})^2 ; (Pi) = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n}{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n}$$

Cada um dos índices de sensibilidade ao encharcamento do solo confere uma ordenação diferente aos genótipos, portanto uma abordagem melhor que a análise de correlações; assim, a Análise de Componentes Principais (ACP) se faz necessária para identificar os genótipos superiores para os diversos ambientes considerados. ACP é um método da estatística multivariada que permite interpretar a estrutura de um conjunto de dados multivariados, a partir das respectivas matrizes

de variâncias-covariâncias ou de correlações entre os parâmetros considerados. Consiste numa transformação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante, e assim por diante, até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (BERNARDI et al, 2009).

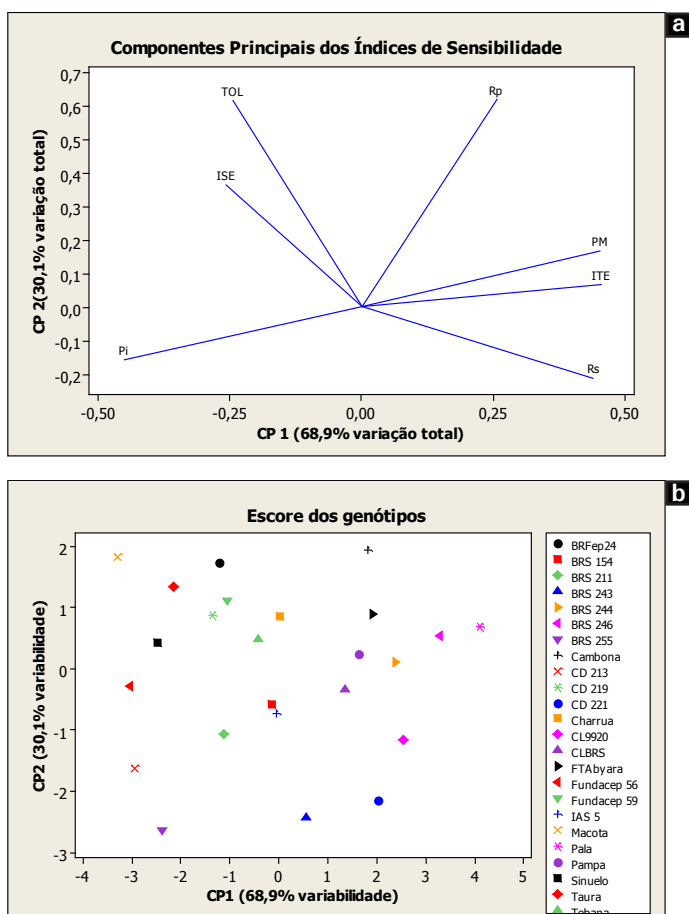
A Figura 1a (“biplot”), elaborada entre os dois componentes principais (CP), revela o coeficiente de correlação existente entre  $R_p$ ,  $R_s$  e os diversos índices de sensibilidade ao estresse. Segundo Yan e Rajcan (2002), o coeficiente de correlação entre dois índices é aproximadamente o cosseno do ângulo entre os vetores. Assim, as relações mais destacadas a partir desta figura são: a) elevada associação negativa de TOL, ISE e  $P_i$  com  $R_s$ , indicada pelo grande ângulo obtuso entre seus vetores; b) correlação muito próxima a zero entre  $R_p$  com  $R_s$  e com ISE – vetores quase perpendiculares; c) elevada correlação positiva ( $> 0,87$ ) entre PM e ITE com  $R_s$ ; e d) correlação positiva ( $> 0,6$ ) entre PM e ITE com  $R_p$ . Assim, a Figura 1 (“biplot”) confirma a análise de correlação apresentada na Tabela 2.

A ACP realizada a partir da matriz dos coeficientes de correlação mostra que o primeiro componente (CP1) explica 68,9% da variabilidade total e está positiva e altamente ( $r > 0,95$ ) correlacionada com PM, ITE e  $R_s$  (Tabela 2 e 3). Assim, essa dimensão está relacionada ao maior potencial de rendimento e a insensibilidade ao estresse. Portanto, os genótipos com altos valores para esses índices apresentariam as melhores produtividades, tanto na presença quanto na ausência de estresse hídrico por excesso. O CP2 explica 30,1% da variação total

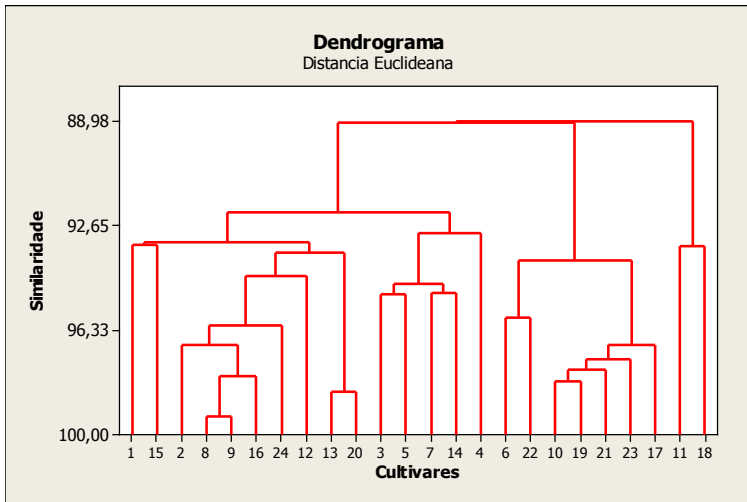
dos parâmetros originais e apresenta correlação positiva com TOL, ISE e Rp. Esse componente está relacionado à tolerância ao estresse que, dessa forma, separa os genótipos tolerantes dos não tolerantes ao excesso hídrico. Conseqüentemente, os genótipos que apresentarem elevado CP2 são mais indicados para ambientes com estresse do que sem ele. Na Figura 1 b estão plotados os diversos genótipos em função dos escores da ACP. Assim as cultivares BRS Pala, BRS 246 RR, BRS 244 RR, BRS Cambona e FT Abyara são as mais produtivas e tolerantes ao excesso hídrico, ou seja, pertencem ao grupo A – genótipos com desempenho uniformemente superior, tanto na presença como na ausência de estresse (FERNANDEZ, 1993). Seguindo esse raciocínio, genótipos com baixos CP1 e CP2 poderiam ser descartados, enquadrando-se nessa situação BRS 154, CD 213, BRS 211, Fundacep 56 RR, BRS 255 RR, todas pertencentes ao grupo D – genótipos que apresentam desempenho/produtividade baixos em ambas as situações de presença ou ausência de estresse (Figura 1 b). Os demais genótipos pertencem aos grupos B e C de Fernandez (1993).

A análise de agrupamentos (dendograma) para classificar os diferentes genótipos por similaridade pode ser observado na Figura 2. Utilizando-se o ponto de corte de 92,2% de similaridade (distância média Euclidiana), os genótipos agrupam-se em três classes com elevada similaridade dentro das classes e baixa similaridade entre as classes. O primeiro agrupamento reuniu as cultivares BRS 246 RR e BRS Pala, que apresentam os maiores valores para Rp, Rs, Pm e ITE e os menores valores para Pi. Os genótipos CD 221, CLBRS 991, BRS 244 RR, BRS Pampa RR, CL 9920, FT Abyara e BRS Cambona foram reunidas no segundo grupamento com valores intermediários de Rs (entre os 11

maiores valores). Do terceiro grupo fazem parte os demais genótipos que apresentaram os menores valores para  $R_s$ , ITE e os maiores valores para  $P_i$ ; conseqüentemente, aqueles com menor tolerância a estresse por excesso hídrico.



**Figura 1.** Análise de Componentes Principais dos índices de sensibilidade ao estresse por encharcamento (a) e escore das cultivares em função dos componentes principais (b)



**Figura 2.** Análise de similaridade das cultivares (dendrograma) em função dos componentes principais.

## CONCLUSÕES

Existe variabilidade genética para tolerância ao excesso hídrico na cultura da soja. O genótipo BRS 246 RR se destacou, independentemente da metodologia de avaliação utilizada, apresentando a menor sensibilidade ao estresse por excesso hídrico. Além dessa, BRS Pala, BRS 244 RR, BRS Cambona e FT Abyara fazem parte do grupo de menor sensibilidade ao estresse por excesso hídrico. A maior sensibilidade ao excesso de água foi observada nos genótipos BRS 154, CD 213, BRS 211, Fundacep 56 RR e BRS 255 RR.

A elevada correlação positiva entre PM (produtividade média) e ITE (índice de tolerância ao estresse) com Rp (rendimento de grãos na ausência de estresse) sugere que o critério de avaliação desses índices são mais eficientes para a identificação de cultivares superiores, independentemente da presença ou intensidade do estresse.

## REFERÊNCIAS

- BERNARDI, J.V.E., et al. Aplicação da análise das Componentes Principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 079-090, 2009. Disponível em: < [www.biogeoquimica.unir.br/classes/download.php?id=194...](http://www.biogeoquimica.unir.br/classes/download.php?id=194...) > Acesso em: 15 junho 2011.
- BURKE, J.J. et al. A thermal stress index for cotton. **Agronomy Journal**, v. 82, p. 526-530. 1990.
- CANTERI, M.G, et al. SASM-AGRI - Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24, 2001.
- CLARKE, J.M., et al. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. **Crop Science**, v. 32, p. 728-732. 1992.
- EVANS, L.T. **Crop evolution, adaptation and yield**. Cambridge:

University Press, 1996. 500 p.

FERNANDEZ, G.C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: KUO, C.G (Ed.). **Adaptation of food crops to temperatura and wáter stress**: proceedings of an international symposium, Taiwan, 13-18 August, 1992. Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center, 1993. p. 257-270. (Publication nº 93-140).

FISCHER, R.A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.29, p.897-912, 1978.

FRAHM, M.A., et al. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. **Euphytica**, v. 136, p. 223–232, 2004.

GASTAL, M.F. da C. et al. Indicação de cultivares de soja para terras baixas. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v.1, n.1, p. 95-99, 1998.

GASTAL, M.F. da C. et al. Cultivares de soja para rotação com arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...**Londrina : Embrapa Soja, 1999. p. 389.

HASSANZADEH, M., et al. Effects of water deficit on drought tolerance indices of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Moghan Region. **Research Journal of Environmental Sciences**, v.3, n. 1, p.116-121, 2009.

HUNTER, M.N. et al. Response of nine soybean lines to soil moisture conditions close to saturation. **Australian Journal of**

**Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Sidney, v. 20, p. 339-45, 1980.

JAFARI, A., et al. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Plant Production**, v. 3, n. 4, p.33-38, 2009.

KHAYATNEZHAD, M., et al. Investigation and selection index for drought stress. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.4, n. 10, p.4815-4822, 2010.

LAW, R.J.; BYTH, D.E. Soybeans. In: LAZEMBY, A.; LOVETT, J.V. (Eds.). **Australian Fields Crops II**. Sydney: Angus and Robertson, 1979. p.198-231.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, p. 193-198, 1988.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science**, v. 80, 758-762. 2001.

NATHANSON, K. et al. Growth, nodulation and accumulation by soybean in saturated soil culture. **Field Crops Research**, v. 8, p.73-92, 1984.

NAZARI, L.; PAKNIYAT, H. Assessment of drought tolerance in Barley genotypes. **Journal of Applied Sciences**, v.10, n. 2, p.151-156. 2010.

PINTO, L. F. S. et al. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. da SILVA.; PAULETTO, E. A. **Manejo do solo e da**



**água em áreas de várzea.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 11-36.

PORCH, T. G.. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 192, p. 390-394. 2006.

RAMIREZ-VALLEJO, P.; KELLY, J.D. Traits related to drought resistance in common bean. **Euphytica**, v. 99, p.127–136. 1998.

ROSIELLE, A.A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science**, v. 21, p.943-946. 1981.

SINGH, B.U., et al. Comparison of selection indices to identify sorghum genotypes resistant to the spotted stemborer *Chilo partellus* (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, p.1-14, 2011.

SIO-SE MARDEH, A. et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crop Res**, v. 98, p.222-229, 2006.

SNELLER, C.H.; DOMBEK, D. Use of irrigation in selection for soybean yield potential under drought. **Crop Science**, v. 37, p.1141-1147, 1997

TALEBI, R., et al. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **General and Applied Plant Physiology**, v. 35, p. 64-74, 2009. Disponível em: <<http://www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-35/>

GAPP\_v35\_1-2\_64-74.pdf> . Acesso em: 10 maio 2011.

THEISEN, G. et al. **Ação de regulador do metabolismo de etileno sobre a produtividade de soja cultivada em terras baixas.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 15p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 68).

THOMAS, A.L. Tolerância de genótipos de soja à inundação do sistema radicular. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 36., 2008, Porto Alegre. **Atas e resumos...** Porto Alegre: FEPAGRO, 2008. p. 74.

YAN, W.; RAJCAN, I. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science**, v. 42, p.11-20, 2002.