

USO DA METODOLOGIA SHOVELOMICS NA AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR EM FEIJÃO

Paulo Henrique Cerutti¹
Cleiton Luiz Wille²
Rita Carolina de Melo¹
Marcio dos Santos¹
Cristiane Rosa Adams¹
Emanuele Carolina Barichello¹

RESUMO: O feijão comum é uma importante espécie no âmbito econômico, ecológico e cultural. Contudo, dentre os problemas relacionados ao cultivo da cultura está a alta sensibilidade a condições de estresse. Dentre elas, a baixa disponibilidade de recursos hídricos em determinados estádios da cultura e a deficiência de elementos minerais no solo (em especial o fósforo), são fatores que em muitas situações limitam a produtividade de grãos. Um mecanismo que pode auxiliar na atenuação desses fatores é o desenvolvimento de genótipos com sistema radicular adaptado, capaz de explorar o solo para melhorias na absorção de água e elementos minerais. Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição radicular em genótipos de feijão por meio da utilização da metodologia denominada *Shovelomics*. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com duas repetições. Foram avaliados 16 genótipos de feijão, sendo quatro genitores (BAF07, BAF09, BAF50, pertencentes ao banco ativo de germoplasma da Universidade do Estado de Santa Catarina, e IPR Uirapuru, sendo uma cultivar do grupo comercial preto) e 12 progênies advindas de cruzamento em dialelo completo. As variáveis avaliadas foram: ângulo de raiz basal (ARB°), profundidade de raízes (PF), índice de área foliar (IAF) e rendimento de grãos (RDG). Para a avaliação do ângulo e profundidade de raízes foi utilizado a metodologia denominada de *Shovelomics*. As análises estatísticas foram executadas no software SAS. A análise de variância indica significância do fator genótipo apenas para a variável profundidade de raízes. Mediante esse fato, contrastes de médias foram executados. Assim sendo, com a utilização da metodologia *Shovelomics* é possível a diferenciação entre os genótipos para a variável profundidade de raízes.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L, distribuição radicular, estresse abiótico.

¹Acadêmicos do curso de pós-graduação em produção vegetal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC/CAV).

²Acadêmico do curso de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC/CAV).

USE OF THE SHOVELOMICS METHODOLOGY TO EVALUATE COMMON BEAN ROOT SYSTEM

ABSTRACT: Common bean is an important species when considering economic, ecological and cultural spheres. However, among the problems related to grow this crop, high sensitivity to stress conditions is one of them. Among them, the low availability of water resources at certain stages of the cycle and the deficiency of mineral elements in the soil (especially phosphorus) are factors that in many situations limit grain yield. A mechanism that may aid in the attenuation of these factors is the development of genotypes with adapted root systems capable of exploring the soil for improvements in the absorption of water and mineral elements. Thus, the goal of this study was to evaluate the root distribution in bean genotypes using the methodology called "Shovelomics". The experiment was carried out in a randomized complete block design with two replicates. Sixteen bean genotypes were evaluated, four of which were used as parents (BAF07, BAF09, BAF50, which belong to the active germplasm bank of the Santa Catarina State University (UDESC), and IPR Uirapuru which is a commercial cultivar) and 12 progenies from crossing in full diallel. The variables evaluated were: basal root angle (ARB°), root depth (PF), leaf area index (IAF) and grain yield (RDG). A methodology called Shovelomics was used to evaluate the angle and depth of roots. Statistical analyzes were performed in the SAS software. The analysis of variance indicates significance only of the genotype factor for the depth of root variable. Thus, comparisons using contrasts estimates were performed. Therefore, the Shovelomics methodology can be used to differentiate among genotypes for the root depth variable.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L, root distribution, abiotic stress.

INTRODUÇÃO

O cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil ocorre em uma diversidade de ambientes. Desde sistemas irrigados com adoção de elevados níveis tecnológicos até sistemas mais tradicionais de cultivo. Um dos motivos primordiais envolvidos no interesse pela produção por parte de agricultores familiares está relacionado a excelente quantidade e qualidade de proteína encontrada nos grãos (CAROVIC-STANKO et al., 2017).

Em muitas situações o cultivo ocorre em condições ambientais adversas. Plantas submetidas a estresse individual ou a uma combinação de fatores que promovam estresse (seca, salinidade, temperaturas elevadas e baixa disponibilidade de nutrientes), têm sido relatados como os principais fatores limitantes a

produtividade das culturas (MITTLER, 2006). Apesar disso, a maioria dos trabalhos que envolvem estudos na área de estresses ou condições adversas são realizados em laboratórios ou em casas de vegetação. Para Mittler (2006), condições experimentais controladas não necessariamente refletem condições de campo (lavoura), e assim, pode existir uma lacuna entre trabalhos executados em casa de vegetação, por exemplo, em relação a condições reais de cultivo.

Recentes programas de melhoramento usando mecanismos fisiológicos e plantas com fenótipos sistemáticos promoveram avanços para tolerância a condições de baixa disponibilidade de água (ASSEFA et al., 2013; BEEBE et al., 2013; RAO, 2014). Assim, a seleção de linhagens de feijão com sistema radicular amplo pode ser uma estratégia para elevar a aquisição de nutrientes com menor mobilidade no solo, como o fósforo (P), e aumentar a capacidade de absorção de água (HO et al., 2005).

De acordo com Velho (2016), avaliações de caracteres relacionados ao sistema radicular (ângulo de raízes basais e profundidade máxima de raízes), juntamente com o rendimento de grãos, são de extrema importância na seleção de plantas com maior adaptação a condições adversas de cultivo. Segundo Lynch (2013) o maior crescimento do sistema radicular é uma das formas mais atrativas relacionadas a aumento da absorção de recursos (hídricos e nutricionais) pelas plantas. Contudo, a grande maioria dos programas de melhoramento não incluem avaliações desse caráter, devido principalmente ao trabalho dispendioso na execução da fenotipagem.

Muitos métodos foram propostos para avaliação do sistema radicular. A maioria dos métodos propostos impõe condições de laboratório, ou avaliam plantas em estágio jovem. Trachsel et al. (2011) propuseram uma metodologia para avaliação do sistema radicular denominada de *Shovelomics*. Este método preconiza a avaliação de plantas adultas, sendo assim uma ferramenta vantajosa para melhoristas avaliarem a variabilidade genética do sistema radicular. Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição radicular em genótipos de feijão por meio da metodologia *Shovelomics*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo durante a safra 2015/16, na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages-SC, (27°47'S, 50°18'W), com altitude média de 920 metros. De acordo com a classificação de Koppen, o clima é cfb temperado mesotérmico úmido e verão ameno. O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico Léptico de textura argilosa. A análise de solo indicou os seguintes valores: Argila= 34%, pH= 5,93; K= 80 mg.dm⁻³; P= 10,06 mg.dm⁻³ e M.O= 2,7 %.

O delineamento experimental foi blocos casualizados com duas repetições. Cada unidade experimental foi formada por seis linhas de quatro metros espaçadas em 0,5 m. Nas linhas externas de cada parcela foi realizada a semeadura com espaçamento de 0,5 m entre plantas (afim de permitir a avaliação do sistema radicular). Já nas quatro linhas internas a densidade de semeadura foi de 10 sementes por metro linear. Os tratos culturais bem como práticas de manejo foram executadas conforme recomendações técnicas para a cultura do feijão.

Os genótipos avaliados consistiram de quatro populações fixas (BAF50, BAF09, BAF07 e IPR Uirapuru) e doze populações segregantes em geração F₆ originárias de dialelo completo entre populações fixas (Tabela 1). Populações denominadas de BAF (banco ativo de feijão) pertencem a coleção do banco de germoplasma da Universidade do Estado de Santa Catarina e IPR Uirapuru é uma cultivar do grupo comercial preto.

Tabela 1. Denominação dos genótipos utilizados no experimento.

Table 1. Denomination of the genotypes used in the experiment.

Genótipos			
01. BAF07 x BAF50	05. BAF09 x IPR UIRA	09. BAF09 x BAF50	13. BAF50
02. BAF07 x IPR UIRA ¹	06. BAF50 x BAF09	10. BAF07 x BAF09	14. BAF09
03. BAF50 x BAF07	07. IPR UIRA x BAF09	11. IPR UIRA x BAF50	15. BAF07
04. IPR UIRA x BAF07	08. BAF09 x BAF07	12. BAF50 x IPR UIRA	16. IPR UIRA

¹IPR Uirapuru. Genótipos de numeração 1 – 12 são relativos as progênies em geração F₆, advindas de dialelo completo. Genótipos de numeração 13 – 16 representam os genitores.

As variáveis avaliadas foram: ângulo de raiz basal (ARB°), profundidade de raízes (PF), índice de área foliar (IAF) e rendimento de grãos (RDG). Para a avaliação do ângulo e profundidade de raízes foi utilizado a metodologia adaptada denominada de *Shovelomics*, desenvolvida por Trachsel et al. (2011). A metodologia consiste na escavação cuidadosa em cerca de 25-30 cm ao entorno do caule das

plantas, a uma profundidade de 30 cm, buscando a retirada do conjunto (solo + raízes). Após, o sistema radicular foi exposto e o excesso de solo removido.

Para limpeza do sistema radicular foi realizada a imersão das raízes em um recipiente com água e detergente neutro na concentração de 5%. Para medida do ângulo e profundidade do sistema radicular, foi utilizado um gabarito com dimensões de ângulo e profundidade, conforme proposto pela metodologia. Para estimação do índice de área foliar foi utilizado o equipamento Accupar LP-80 (Decagon devices, Inc.). A medida consiste em integrar variáveis como a transmissão e a penetração da luz e as características estruturais da planta (ângulo e distribuição das folhas). Foram realizadas três medições por parcela.

Quando os genótipos atingiram o ponto de colheita, foram colhidas cinco plantas de cada parcela para mensuração das variáveis que compõem o rendimento de grãos (número de legumes por planta, número de grão por legume, massa de grãos), para se obter o rendimento de grãos por genótipo (kg. ha^{-1}). A umidade dos grãos foi corrigida pra 13%. As análises estatísticas foram realizadas no software SAS (SAS, 9.2). Foi executado o teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett). Ambas pressuposições do modelo estatístico foram atendidas. Na presença de significância na análise de variância para o fator genótipo, contrastes de comparação de médias foram executados.

RESULTADOS

A análise de variância apresenta significância para o fator genótipo a 5% de probabilidade de erro na variável profundidade de raízes (PF) e ausência de significância do fator genótipo para variável ângulo de raízes basais (ARB°), conforme (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância do fator genótipo para as variáveis ângulo de raiz basal e profundidade de raízes.

Table 2. Analysis of variance of the genotype factor for the root angle and root depth variables.

Causa de variação	ARB°			PF	
	GL	QM	P>F	QM	P>F
Bloco	1	17,62	0,6397	3,61	0,4140
Genótipo	15	106,35	0,2714	16,57	0,0146
Resíduo	15	77,21	-	5,11	-

A variação observada foi de 9 a 30 ° e 13 a 24 cm, respectivamente para variável ângulo de raiz basal e profundidade de raízes nos 16 genótipos avaliados, (Figura 1).

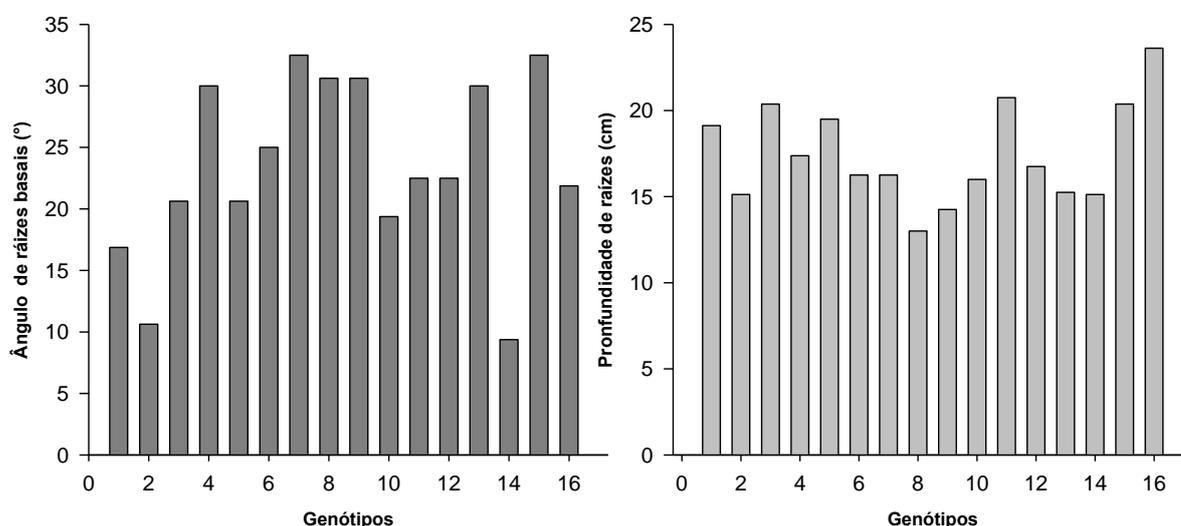


Figura 1. Variação entre genótipos para ângulo de raiz basal e profundidade de raízes.

Figure 1. Variation among genotypes for the basal root angle and root depth.

Buscando inferir sobre o comportamento dos genótipos foram executados contrastes de comparação de médias. Contrastes de médias podem ser utilizados quando se deseja comparar grupos de médias, possibilitando ainda direcionar comparações de acordo com o desejo do pesquisador. Na Tabela 3, estão representadas as comparações entre as populações fixas (BAF07, BAF09, BAF50 e IPR Uirapuru). O contraste 1 indica que as médias de profundidade de raiz entre IPR Uirapuru e BAF07 são iguais. Porém, a comparação entre os genótipos IPR Uirapuru e BAF07 com os demais revela diferença significativa a 5 % de

probabilidade de erro (contrates 2, 3 e 4). Esse fato possivelmente indica a existência de variabilidade genética para essa característica.

Tabela 3. Estimativas de comparação de médias para a variável profundidade de raízes.

Table 3. Contrast estimates for the root depth variable.

Contraste	Valor de t	Pr> t
1. IPR UIRAPURU vs BAF07	1,44	0,1713
2. IPR Uirapuru vs BAF09	3,76	0,0019
3. IPR Uirapuru vs BAF50	3,70	0,0021
4. BAF07 vs BAF09	2,32	0,0348

Com o objetivo de observar o comportamento de progênes após seis gerações de autofecundação (todas conduzidas em condições de campo), novamente contrastes de comparação de médias foram confeccionados. A combinação BAF07 x BAF09 foi a progênie com maior expressão do sistema radicular (21 cm). Contrastes de numeração 5 – 15 indicam comparações da progênie BAF07 x BAF09 com as demais (Tabela 4). Do total de 11 comparações, apenas três (28%) foram significativas a 5 % de probabilidade de erro, indicando a similaridade entre progênes para essa característica.

Tabela 4. Estimativas de comparação de médias para a variável profundidade de raízes entre progênes na sexta geração de autofecundação.

Table 4. Contrast estimates for the root depth variable among progenies in the sixth generation of self-fertilization.

Contraste	Valor de t	Pr> t
5. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF07x BAF50	0,72	0,4835
6. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF07x IPR Uirapuru	2,49	0,0251
7. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF50x BAF07	0,17	0,8705
8. IPR Uirapuru x BAF50 vs IPR Uirapuru x BAF07	1,49	0,1564
9. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF09 x IPR Uirapuru	0,55	0,5886
10. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF50 x BAF09	1,99	0,0652
11. IPR Uirapuru x BAF50 vs IPR Uirapuru x BAF09	1,99	0,0652
12. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF09 x BAF07	3,43	0,0037
13. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF09 x BAF50	2,87	0,0016
14. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF07 x BAF09	2,10	0,0530
15. IPR Uirapuru x BAF50 vs BAF50 x IPR Uirapuru	1,77	0,0973
16. IPR Uirapuru x BAF50 vs (BAF50, IPR Uirapuru)	0,67	0,5130

O contraste 16 indica a comparação da progênie BAF07 x BAF09 em relação aos genitores envolvidos na hibridação. A não significância conduz a ideia de presença de aditividade no controle genético dessa característica. Já para as variáveis rendimento de grãos (RDM) e índice de área foliar (IAF) a análise de variância não apresenta significância 5% de probabilidade de erro para o fator genótipo, indicando comportamento análogo dos genótipos para essa característica (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância do fator genótipo para as variáveis rendimento de grãos e índice de área foliar.

Table 5. Analysis of variance of the genotype factor for the grain yield and index of leaf area variables.

Causa de variação	GL	RDG		IAF	
		QM	P>F	QM	P>F
Bloco	1	156940,03	0,2795	4,11	0,0489
Genótipo	15	66419,61	0,8829	0,8957	0,499
Resíduo	15	124659,0	-	0,8947	-

O índice de área foliar apresentou amplitude de 2,4 a 4,6 e o rendimento de grãos de 640 a 1230 kg. ha⁻¹, (Figura 2).

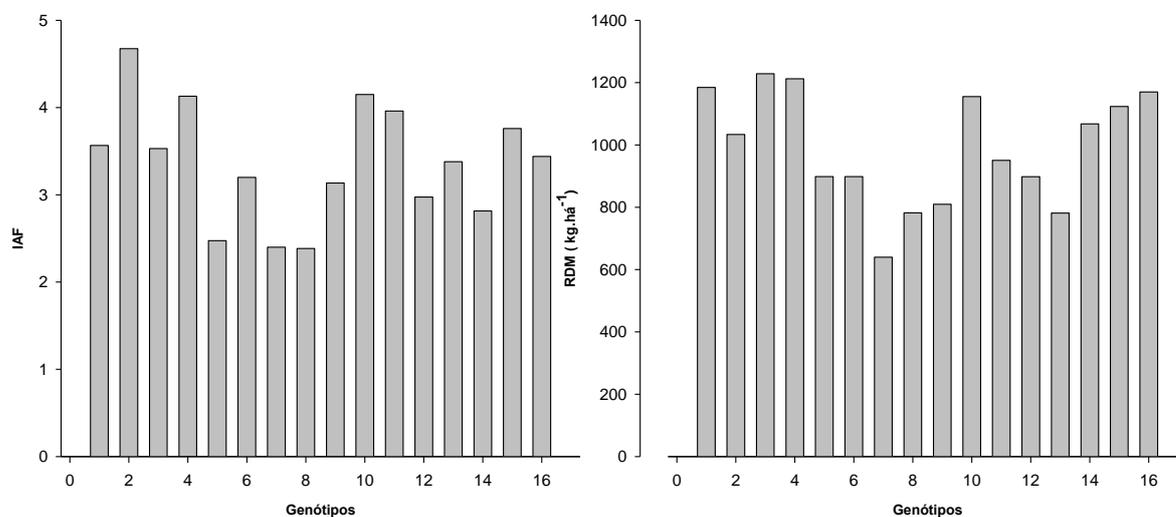


Figura 2. Amplitude de valores para as variáveis índice de área foliar e rendimento de grãos nos genótipos avaliados.

Figure 2. Range of values in the evaluated genotypes for the leaf area index and grain yield variables.

DISCUSSÃO

O desenvolvimento do sistema radicular das plantas determina a possível habilidade na exploração dos recursos presentes no meio (HO et al., 2005). De acordo com Rosado (2012) a identificação e seleção de genótipos com sistema radicular mais eficiente na aquisição de água e elementos minerais em condições de restritivas é uma alternativa para programas de melhoramento no ganho e manutenção de tetos produtivos. Assim sendo, melhorias em características que possam promover aumentos na eficiência de aquisição de água e nutrientes é algo que deve ser considerado no momento de formação dos genótipos (LYNCH, 2007). Porém, Leite et al. (2017), salienta que características agronômicas complexas (de ordem quantitativa), podem apresentar dificuldades de avanços em programas de melhoramento.

A ausência de significância do fator genótipo para variável ângulo de raiz basal indica a reduzida variabilidade para possível seleção nesse caráter. Velho (2016) não encontrou correlação entre ângulo de raiz e rendimento de grãos, índice de área foliar e distribuição radicular. Lynch (2007) salienta que genótipos com menor ângulo de raízes basais são mais propensos a aquisição de elementos minerais (já que exploram o solo em maior magnitude nas profundidades mais superficiais). Porém ângulo de raiz basal é fortemente influenciado pelas condições ambientais, em especial por baixa disponibilidade do elemento fósforo (LYNCH; BROWN, 2008).

Contrariamente, a significância da variável profundidade inicialmente induz a crer na possibilidade de seleção de genótipos mais adaptados, além de progênies com desempenho superior à média de seus genitores. Porém, a breve execução de contrastes de comparação de médias indica que as progênies tendem a “igualar” seu desempenho ou sua expressão fenotípica em relação a seus genitores. Esse fato revela que a predominância genes de efeitos aditivos estão diretamente relacionados ao caráter profundidade de raízes. Melo et al. (2016), também detectaram predominância de herança dessa natureza no caráter distribuição radicular em populações fixas e segregantes de feijão, ao avaliaram a distribuição radicular pela metodologia adaptada de Bohn (1979), fundamentada na execução de trincheiras em condições de campo.

De acordo com Burton et al. (2013), além de características voltadas ao sistema radicular, é desejado que as cultivares apresentem desempenho agrônômico no mínimo satisfatório. Velho et al. (2017) mencionam que se tratando do caráter rendimento de grãos em relação a variável distribuição radicular, a melhor estratégia para ganho em ambos caracteres é a seleção de indivíduos com efeitos indiretos elevados e significativos (detectados pela análise de trilha). Beebe et al. (2008) observaram correlação positiva entre caráter distribuição radicular e rendimento de grãos.

O rendimento médio de grãos obtido na condução dessas populações variou de 650 a 1300 kg. ha⁻¹. Novos trabalhos buscando maior rendimento de grãos devem ser executados. Porém o intuito inicial do trabalho foi observar o comportamento do sistema radicular, afim de incorporar avaliações do mesmo caráter em programas de melhoramento. Poliana et al. (2017) mencionam que em condições de estresses abióticos, como por exemplo em condições de restrição hídrica, ocorre remobilização de fotoassimilados para a formação de grãos, o que pode resultar em menor expressão de caracteres voltados ao sistema radicular. Segundo os mesmos autores, dentre as estratégias desenvolvidas pelos genótipos que estão associadas a características de conservação de água durante o crescimento vegetativo estão: menor condutância estomática, menor tamanho de folhas e menor índice de área foliar. Pesquisas em ambos os caracteres simultaneamente podem promover melhorias no desempenho de genótipos de feijão quando submetidos a ambientes com condições de desenvolvimento não ideais (ARAÚJO et al., 2015; POLIANA et al., 2017).

Santana et al. (2016) encontraram valores de índice de área foliar variando de 1,34 – 3,22. Nesse trabalho a variação de 2,3 – 4,6 indica maior desenvolvimento vegetativo. Velho (2016) destaca que o índice de área foliar indicou correlação total de 0,382 com a variável distribuição radicular e efeito direto de 0,243, corroborando com os resultados encontrados por Toaldo (2012). Já Rocha et al. (2010) destacaram efeitos negativos e positivos entre índice de área foliar e sistema radicular, dependendo do genótipo e da profundidade de avaliação da distribuição de raízes (0-10, 11-20 e 21-30 cm). Um dos mecanismos que genótipos podem desenvolver para adaptação a seca é o controle estomático e maior desenvolvimento do sistema radicular (KURUVADI; AGUILERA 1990). Contudo a

relação entre desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular em diferentes condições de ambiente necessita ser melhor compreendida.

CONCLUSÃO

O uso da metodologia *Shovelomics* permite diagnosticar variabilidade para a característica profundidade de raízes nos genótipos avaliados. A prática de avaliação de caracteres relacionados ao sistema radicular é de primordial importância em programas de melhoramento genético na busca por genótipos mais adaptados a condições de ambientes restritivos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos e incentivo a pesquisa científica. A Universidade do Estado de Santa Catarina pelo ensino de qualidade prestado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. S.; BEEBE, S.; CRESP, M.; DELBREIL, B.; GONZÁLEZ, E.M.; GRUBER, V.; LEJAUNE-HENAUT, I.; MONTEROS, M. J.; LINK, W.; PRATS, E.; RAO, I.; VEDEZ, V.; PATTO, M.C.V. Abiotic stress responses in legumes: strategies used to cope with environmental challenges. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, p. 237–280, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07352689.2014.898450>

ASSEFA, T.; WU, J.; BEEBE, E. S.; RAO, I. M.; MARCOMIM, D.; CLEUDE, J.R. Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. **Euphytica**, v. 203, n. 3, p. 477–489, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-014-1242-x>

BEEBE, S.E.; RAO, I.M, BLAIR, M. W, A.G. Phenotyping common beans for adaptation to drought. **Frontiers Plant Physiology**, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2013.00035>

BEEBE, S.E.; RAO, I. M.; CAIJAO, V.; HERNANDO, C.; MIGUEL, G. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. **Crop Science**, v.48, p.582-592, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0404>.

BURTON, A. L.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Phenotypic Diversity of Root Anatomical and Architectural Traits in Species. **Crop Science**, v. 53, n. 3, p. 1042-1055, 2013.

CAROVIĆ-STANKO, K.; LIBER, Z.; VIDAK, M. BAREŠIĆ, A.; GRDIŠA, M. LAZAREVIĆ, B.; ŠATOVIĆ, Z. Genetic Diversity of Croatian Common Bean Landraces. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1–8, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00604>

HO, M. D.; ROSAS, R. C.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. **Functional Plant Biology**, v. 32, n. 8, p. 737–748, 2005.

KURUVADI, S. AGUILERA, D.M. Patronos del sistema radicular en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, v. 40, p. 491-498, 1990.

LEITE, M. E.; FIGUEIREDO, I. C. R. de.; DIAS, J.A.; ALVES, F.C ; SANTOS, J. B. dos. Reaction of common bean lines derived from recurrent selection for white mold resistance and aggressiveness of *Sclerotinia sclerotirum* isolates. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 5, p. 1177–1187, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v33n5a2017-36779>

LYNCH, J.P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize roots systems. **Annals of Botany**, Oxford, v. 112, n. 1, p. 347-357, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcs293>

LYNCH, J.; BRONW, K.M. Root strategies for phosphorus acquisition. **Plant Ecophysiology**, Utrecht, v. 7, n. 1, p.83-116, 2008.

MELO, R.C.; SCHMIT, R.; CERUTTI, P.H.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J.L.M. Genetic variation in the trait root distribution over segregating generations of common bean. **Euphytica**, v.207, p.665-674, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-015-1568-z>

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15–19, 2006.

POLIANA, J.; POSCHENRIEDER, C.; RAO, I.; BEEBE, S. Root traits and their potential links to plant ideotypes to improve drought resistance in common bean. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 29, p. 143 -154, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40626-017-0090-1>

RAO, I. M. Advances in improving adaptation of common bean and *Brachiaria* forage grasses to abiotic stress in the tropics. In: Pessarakli M (ed). **Handbook of plant and crop physiology**, p .847–889, 2014.

ROCHA, F.; COAN, M.; COIMBRA, J.L.M.; BERTOLDO, J.; GUIDOLIN, A.F.; KOOP, M. Root distribution in common bean populations used in breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 40-47, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/1984-7033.v10n01a06>

ROSADO, R.D.S. **Caracterização do sistema radical do feijoeiro e seu uso no melhoramento genético**. 2012. 92 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

SANTANA, A.V.de.; HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; NASCENTE, A.S. Índice de refletância na estimativa da área foliar e biomassa das folhas em feijão comum. **Colloquium Agrariae**, v. 12, n.1, p.07-19, 2016.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2016.v12.n1.a128>

TOALDO, D. **Melhoramento do sistema radicular do feijão visando tolerância a deficiência hídrica**. 2012. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

TRACHSEL, S.; KAEPLER, S.M.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. **Plant Soil**, Crawley, v. 341, n. 1, p. 75-87, 2011.

DOI: [10.1007/s11104-010-0623-8](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0623-8)

VELHO, L.P.S. GEMELI, M. S.; TREVISANI, N.; PEREIRA, T.C.V.; CERUTTI, P.H.; MELO, R.C.de.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M.; CORRÊA, S.C. Phenotypic correlation and direct and indirect effects of aerial part components with root distribution of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.5, p.328-334, 2017.

DOI: [10.1590/S0100-204X2017000500006](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000500006)

VELHO, L.P.S. **Variabilidade genética para os componentes da parte aérea associados com ampla distribuição radicular na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2016. 65p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.