

LUIS PAULO SARAIVA VELHO

**VARIABILIDADE GENÉTICA PARA OS COMPONENTES DA
PARTE AÉREA ASSOCIADOS COM AMPLA DISTRIBUIÇÃO
RADICULAR NA CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Luís Meirelles Coimbra

Coorientador: Prof. Dr. Altamir Frederico Guidolin

**LAGES-SC
2016**

Velho, Luis Paulo Saraiva
Variabilidade genética para os componentes da parte aérea associados com ampla distribuição radicular na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)/ Luis Paulo Saraiva Velho. - Lages, 2016.

65 p.: il.; 21 cm

Orientador: Jefferson Luís Meirelles Coimbra

Bibliografia: p.56-64.

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2016.

1. Sistema radicular. 2. Genótipos. 3. Estresses abiótico. 4. Seleção indireta. I. Velho, Luis Paulo Saraiva. II. Coimbra, Jefferson Luís Meirelles. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IV. Variabilidade genética para os componentes da parte aérea associados com ampla distribuição radicular na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

LUIS PAULO SARAIVA VELHO

VARIABILIDADE GENÉTICA PARA OS COMPONENTES DA PARTE AÉREA ASSOCIADOS COM AMPLA DISTRIBUIÇÃO RADICULAR NA CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris L.*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Prof. Dr. Jefferson Luís Meirelles Coimbra
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: _____

Dr. Daniel Pedrosa Alves
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de
Santa Catarina - Epagri

Membro: _____

Prof. Dra. Ana Carolina da Costa Lara Fioreze
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Lages, 15 de julho de 2016

Dedico aos meus pais Luiz
Antonio e Ariane e à minha
esposa Siara.

AGRADECIMENTOS

À Deus... Presença constante na minha vida sem que eu precise pedir, pelo auxílio nas minhas escolhas e por me confortar nas horas difíceis.

Quero agradecer a minha família que não mediram esforços para que eu conseguisse alcançar este título;

Ao professor Jefferson Luís Meirelles Coimbra pela orientação, incentivo, dedicação e confiança depositada. Sem dúvida um exemplo de professor, orientador e amigo em quem eu posso me espelhar!

Ao coorientador professor Altamir Frederico Guidolin pelos conhecimentos transmitidos e amizade.

Aos colegas do grupo IMEGEM, sem os quais nenhum trabalho teria sido realizado! Foram muitas trincheiras.... Sem palavras para agradecer.

Ao CAV/UDESC, professores e funcionários que convivi durante todo o mestrado.

À Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina – FAPESC, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma me apoiaram durante os dois anos de curso, que talvez não tenham sido citados, quero que recebam meu muito obrigado!

RESUMO

VELHO, Luis Paulo Saraiva. **Variabilidade genética para os componentes da parte aérea associados com ampla distribuição radicular na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, SC, 2016.

As principais causas de redução na produtividade da cultura do feijão são os estresses abióticos, como deficiência hídrica, baixa disponibilidade de nutrientes no solo e temperaturas desfavoráveis. A seleção de cultivares de feijão com uma maior distribuição radicular é uma excelente estratégia para melhorar a capacidade de absorção de nutrientes, em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, e também, genótipos com sistema radicular mais desenvolvido possuem maior tolerância ao estresse hídrico. Por isso, é de grande importância a análise da distribuição do sistema radicular do feijão em programas de melhoramento, já que cultivares com maior perfil radicular se mostram mais produtivas e com resistência a fatores bióticos e abióticos. Sendo assim, este trabalho teve como objetivos: *i*) estimar a correlação fenotípica e seus efeitos diretos e indiretos dos componentes da parte aérea que estão associados com a distribuição radicular; *ii*) avaliar a variabilidade genética e associação da distribuição radicular em relação ao hábito de crescimento em linhagens de feijão. Os experimentos foram realizados na área experimental do IMEGEM, arranjados em delineamento de blocos casualizados. Para avaliação do sistema radicular foi utilizado o método de Bohm, quando os genótipos apresentaram pleno florescimento foram abertos

perfis perpendiculares a linha de semeadura, onde um retângulo com dimensões de 0,5 m de largura por 0,3 m de altura, quadriculado com 0,05 m de lado foi disposto e uma foto foi capturada. A determinação da distribuição radicular no sistema binário (denominação de presença (1) e ausência (0) das raízes em cada quadrícula) foi realizada por meio da análise da foto. A mensuração da característica distribuição radicular a partir da determinação de eventos simples (presença=1 e ausência=0). Além disso, foi avaliado o ângulo de raiz através do método de Shovelomics e também mensurado os componentes da parte aérea. Os resultados revelaram a importância dos caracteres diâmetro de caule, índice de área foliar, inserção do primeiro legume e ângulo de raiz, uma vez que apresentaram as maiores correlações positivas com a distribuição radicular, podendo auxiliar na seleção indireta desse caráter. O efeito residual foi superior ao coeficiente de determinação, indicando que as características independentes não têm total influência na distribuição radicular, e os baixos valores dos coeficientes de determinação estão atribuídos a efeitos do ambiente, competição por nutrientes e a diferentes mecanismos fisiológicos que controlam a expressão de vários genes com efeitos menores. Os resultados revelaram que existe variabilidade genética no sistema radicular das linhagens analisadas. Todos os contrastes envolvendo o hábito de crescimento determinado apresentaram diferença significativa, evidenciando que os genótipos de hábito indeterminado são promissores para utilização em blocos de cruzamentos, quando a finalidade é a seleção de cultivares com boas distribuições radiculares.

Palavras-chave: Sistema radicular. Genótipos. Estresses abiótico. Seleção indireta.

ABSTRACT

VELHO, Luis Paulo Saraiva. **Genetic variability for the aboveground components associated with large root distribution in bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.).** 2016. 65 f. Master (Dissertation in Vegetable Production) - University of Santa Catarina State. Graduate Program in Vegetable Production, Lages, 2016.

The main causes of reduction in bean crop productivity are the abiotic stresses such as drought stress, low availability of nutrients in the soil and unfavorable temperatures. The selection of bean cultivars with a larger root distribution is an excellent strategy to improve nutrient absorption capacity in soils with low nutrient availability, and also genotypes with more developed root system has increased tolerance to drought stress. So it is very important to analyze the distribution of the root bean system in breeding programs, as cultivars with larger root profile are more productive and resistant to biotic and abiotic factors. Thus, this study aimed to: i) estimate the phenotypic correlation and its direct and indirect effects of the aerial part of the components that are associated with root distribution, facilitating the indirect selection for this character; ii) evaluate the genetic variability and association of root distribution in relation to the growth habit in bean lines. The experiments were conducted in the experimental area of IMEGEM, arranged in a randomized block design. To evaluate the root system was used Bohm method, when the genotypes full flowering were perpendicular profiles open the line of sowing, a rectangle with dimensions of 0.5 m wide by 0.3 m high, with checkered 0.05 m side was willing and a photo was taken. The determination of the root distribution in binary (presence denomination (1) and absence (0) of the root in each

square) was performed using photo analysis. The measurement of characteristic root distribution of the determination of simple events (presence = 1 and absence = 0). In addition, it evaluated the root angle through Shovelomics method and also measured the aboveground parts. The results revealed the importance of stem diameter characters, leaf area index, the first pod insertion and root angle, since it had the highest positive correlation with root distribution to assist in indirect selection of this character. The residual effect was greater than the coefficient of determination indicating that the independent characteristics are not fully influence on the root distribution and low values of correlation coefficients are attributed to the effects of environment, competition for nutrients and different physiological mechanisms that control the expression multiple genes with minor effects. The results revealed that genetic variability exists in the root system of the analyzed strains. All contrasts involving the particular growth habit showed significant difference, indicating that the habit indeterminate genotypes are promising for use in crossing blocks, when the aim is the selection of cultivars with good root distributions.

Keywords: Root system. Genotypes. Abiotic stresses. Indirect selection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres estatura da planta (EST), inserção do primeiro legume (IPL), diâmetro do caule (DC), numero de vagens (NVA), número de grãos (NGA), índice de área foliar (IAF), rendimento de grãos (REN), ângulo de raiz (ANG), massa fresca da parte aérea (MFA) sobre o caráter distribuição de raiz (DR). UDESC–IMEGEM, Lages SC, 2014/15.....38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de correlação fenotípica entre os caracteres distribuição radicular (DR), estatura da planta (EST), inserção do primeiro legume (IPL), diâmetro do caule (DC), número de vagens por planta (NVA), número de grão por planta (NGA), índice de área foliar (IAF), rendimento da parcela (REN), ângulo de raiz (ANG), massa fresca da parte aérea (MFA). UDESC-IMEGEM, Lages, 2014/2015.....	34
Tabela 2 - Análise de variância e seus respectivos graus de liberdade (GL) correspondente ao caráter distribuição radicular em 10 cultivares de feijão, nos anos de 2015 e 2016. UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/201.....	46
Tabela 3 - Médias observadas (μ_O) e médias transformadas (μ_T) ($\rho = \ln(\mu/1-\mu)$) para o caráter distribuição de radicular em genótipos de feijão, em diferentes anos 2015 e 2016. UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.....	48
Tabela 4 - Diferença mínima significativa de médias entre genótipos de feijão para o caráter distribuição radicular (estimativas transformadas $\rho = \ln(\mu/1-\mu)$). UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.....	50
Tabela 5 - Contrastess entre os diferentes hábitos de crescimento da cultura do feijão para a variável distribuição radicular. UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	23
2	CAPÍTULO I - DISTRIBUIÇÃO RADICULAR ASSOCIADO COM OS COMPONENTES DA PARTE AÉRA EM FEIJÃO	25
2.1	RESUMO	25
2.2	ABSTRACT	26
2.3	INTRODUÇÃO	26
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	29
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.6	CONCLUSÃO	39
3	CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO RADICULAR EM RELAÇÃO AO HÁBITO DE CRESCIMENTO EM LINHAGENS DE FEIJÃO... 	40
3.1	RESUMO	40
3.2	ABSTRACT	41
3.3	INTRODUÇÃO	41
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	44
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.6	CONCLUSÃO	53
4	CONCLUSÃO GERAL	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	APÊNDICES	65

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é oriundo da família das leguminosas, utilizado como alimento por ser fonte de proteínas e calorias para mais de 500 milhões de pessoas na América latina e África (FAO, 2014). O feijão se faz presente nas refeições diárias dos brasileiros, o consumo per capita está entre 16 kg/hab/ano e varia conforme a região, local de moradia e condição financeira do consumidor com o tipo e cor dos grãos, entre outros fatores (WANDER; FERREIRA, 2014).

O Brasil é um dos maiores produtores de feijão, responsável por cerca de 20% da produção mundial (MAPA, 2015). A produção de feijão em relação ao ano de 2016 segundo a CONAB, estima-se que alcance 3.36 mil toneladas, em uma área de 3.000 mil ha, obtendo uma produtividade média nacional de 1.083 Kg ha⁻¹, sendo que o potencial produtivo da cultura em condições adequadas é superior a 4.000 Kg ha⁻¹. No estado de Santa Catarina, a produção do feijão foi estimada em 141,7 mil toneladas em uma área de 75,9 mil hectares, com uma produtividade média de 1.802 kg ha⁻¹ (EPAGRI, 2015). As baixas produtividades têm sido principalmente atribuídas a fatores abióticos. Entre os estresses abióticos, a deficiência hídrica se destaca pela amplitude de ocorrência e pela redução na produtividade (MUÑOZ-PEREÁ et al., 2006). Estima-se que 60% da produção mundial de feijão vêm de regiões com deficiência hídrica, o que a torna a segunda maior causa de redução da produtividade da cultura (SINGH, 1995).

Os prejuízos com relação à produtividade do feijoeiro, decorrentes da deficiência hídrica, são em função das modificações fisiológicas e morfológicas e seus diferentes níveis de redução da produtividade de grãos. A redução causada pelo estresse hídrico pode proporcionar decréscimos de até 20% no rendimento, e em algumas vezes pode ocorrer a perda total da lavoura (AGUIAR et al., 2008).

Os programas de melhoramento genético do feijoeiro contribuem anualmente para o desenvolvimento de novas cultivares para o setor produtivo com características agronômicas desejáveis, elevado potencial produtivo, adaptadas às regiões de cultivo.

Portanto, o melhoramento de plantas é uma importante ferramenta para minimizar os efeitos do estresse hídrico sobre a produtividade de grãos. Dessa forma, a avaliação de características associadas à raiz (distribuição, arquitetura, comprimento, entre outras) é importante, de modo que a seleção de plantas com sistema radicular mais desenvolvido pode culminar com o desenvolvimento de genótipos com maior tolerância a fatores bióticos e abióticos.

A seleção de cultivares de feijão com sistema radicular desenvolvido pode ser postulada como estratégia no incremento da absorção de fósforo (P). Isso porque o crescimento radicular é uma das características fundamentais para aumentar a capacidade de absorção do P pelas plantas (LYNCH; BROWN, 2008). E ainda, quanto ao estresse hídrico, é evidente que genótipos de feijão com um sistema radicular mais desenvolvido, mostram desempenhos superiores em condição de deficiência hídrica (HO et al., 2005). Estes pontos são importantes principalmente quando se considera que 75% das lavouras nacionais de feijão são cultivadas em áreas inferiores a 10 hectares, portanto, onde o cultivo feijão dispõe de pouca tecnologia e recursos financeiros para aplicação na lavoura (FUSCALDI; PRADO, 2005).

Por isso, muitos programas de melhoramento concentraram-se em manipular geneticamente o sistema radicular das plantas, de forma a aperfeiçoar a capacidade de absorção de água e nutrientes, como uma forma de minimizar os efeitos abióticos sobre a produtividade de grãos (DORLODOT et al., 2007).

A seleção de genótipos com sistema radicular desenvolvido pode ser uma estratégia fundamental para o

desenvolvimento de plantas tolerantes ao déficit hídrico e a baixa disponibilidade de nutrientes.

2 CAPITULO I - DISTRIBUIÇÃO RADICULAR ASSOCIADA COM OS COMPONENTES DA PARTE AÉREA EM FEIJÃO

2.1 RESUMO

Genótipos com maior distribuição radicular propiciam aumento na tolerância aos estresses abióticos. O objetivo do trabalho foi quantificar associação entre os componentes da parte aérea com a distribuição radicular. Foram utilizados dezesseis genótipos de feijão, sendo que doze são populações segregantes em geração F₆ e quatro populações fixas, conduzidos a campo, num delineamento em blocos casualizados, com duas repetições. Para a avaliação do sistema radicular foi realizado o método descrito por Bohm (1979). A correlação fenotípica de Person foi estimada através da análise de trilha que tem como intuito desdobrar as correlações em efeitos diretos e indiretos do caráter sobre a variável básica. Os resultados revelaram a importância dos caracteres diâmetro de caule, índice de área foliar, inserção do primeiro legume e ângulo de raiz, uma vez que apresentaram as maiores correlações positivas com a distribuição radicular, podendo auxiliar na seleção indireta desse caráter. O efeito residual foi superior ao coeficiente de determinação, indicando que as características independentes não têm total influência na distribuição radicular, e os baixos valores dos coeficientes de determinação estão atribuídos a efeitos do ambiente, competição por nutrientes e a diferentes mecanismos fisiológicos que controlam a expressão de vários genes com efeitos menores.

Palavras-Chave: Distribuição radicular. Estresse abiótico. Seleção indireta.

2.2 ABSTRACT

Genotypes with larger root distribution provide increased tolerance to abiotic stresses. The objective of this work was to quantify the association between aboveground components with the root distribution. Twelve F6 segregating populations and four fixed populations were assessed at field conditions. The experimental design was randomized block with two replications. The evaluation of root system was performed as described in Bohm (1979). Person phenotypic correlation was estimated through path analysis to determine the direct and indirect effects of the character on the basic variable. The results revealed the importance of stem diameter characters, leaf area index, the first pod insertion and root angle, for the highest positive correlation with root distribution to assist the indirect selection. The residual effect was greater than the coefficient of determination, indicating that the independent characteristics are not fully influence by root distribution and low values of correlation coefficients are attributed to the environment effects, competition for nutrients and different physiological mechanisms that control the expression of multiple genes with minor effects.

Keywords: Root distribution. Abiotic stress. Indirect selection.

2.3 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de feijão, responsável por cerca de 20% da produção mundial (MAPA, 2015). A produção de feijão em relação ao ano de 2016 segundo a CONAB, estima-se que alcance 3.36 mil toneladas, em uma área de 3.000 mil ha, obtendo uma produtividade

média nacional de 1.083 Kg ha⁻¹, sendo que o potencial produtivo da cultura em condições adequadas é superior a 4.000 Kg ha⁻¹. As baixas produtividades têm sido principalmente atribuídas a fatores abióticos, entre esses, a deficiência hídrica se destaca pela amplitude de ocorrência e pela redução na produtividade (MUÑOZ-PEREA et al., 2006). Estima-se que 60% da produção mundial de feijão vêm de regiões com deficiência hídrica, o que a torna a segunda maior causa de redução da produtividade da cultura (SINGH, 1995), além disso a mudança climática global está agravando cada vez mais a limitação de água das culturas, aumentando a demanda evaporativa, acelerando a degradação dos solos, e alterando a distribuição da precipitação no tempo e no espaço (WHEELER; VON BRAUN, 2013).

Portanto o desenvolvimento de cultivares de feijão com sistema radicular desenvolvido pode ser postulada como uma importante estratégia no incremento da absorção de água e nutrientes. Isso porque o crescimento radicular é uma das características fundamentais para aumentar a capacidade de absorção pelas plantas (WASSON et al., 2012; LYNCH, 2013). E ainda, quanto ao estresse hídrico, é evidente que genótipos de feijão com um sistema radicular mais desenvolvido, mostram desempenhos superiores em condição de deficiência hídrica (HO et al., 2005). Estes pontos são importantes principalmente quando se considera que 75% das lavouras nacionais de feijão são cultivadas em áreas inferiores a 10 hectares, portanto, onde o cultivo feijão dispõe de pouca tecnologia e recursos financeiros para aplicação na lavoura (FUSCALDI; PRADO, 2005).

Por isso, muitos programas de melhoramento concentram-se em manipular geneticamente o sistema radicular das plantas, de forma a aperfeiçoar a capacidade de absorção de água e nutrientes, como uma maneira de minimizar os efeitos abióticos sobre a produtividade de grãos (DORLODOT et al., 2007). Dessa forma, a avaliação de características

associadas à raiz (distribuição, arquitetura, comprimento, entre outras) é de extrema importância para programas de seleção de plantas.

No entanto o sistema radicular é um caráter complexo e resultante da expressão e associação de diferentes componentes e altamente influenciado pelo efeito do ambiente, sendo necessário conhecer os efeitos que interagem no comportamento do caráter para obter maior eficiência na seleção (KUREK et al., 2001), além disso os métodos empregados para avaliar o sistema radicular são meticulosos, onerosos e morosos.

Portanto, é importante estimar a correlação simples porque admite diagnosticar a magnitude e a direção das relações entre caracteres, permitindo avaliar a viabilidade do emprego da seleção indireta, tornando o progresso genético mais rápido e altamente expressivo para o programa de melhoramento genético (CRUZ; REGAZZI, 1997). Conforme Falconer e Mackay (1996), a seleção efetuada com base em apenas um caráter pode provocar mudanças, simultaneamente em um ou mais caracteres de importância econômica.

Mas a quantificação e a interpretação do coeficiente de correlação entre dois caracteres podem causar equívocos durante a seleção, pois uma alta correlação pode ser resultante do efeito de um terceiro ou de um grupo de caracteres (CRUZ; CARNEIRO, 2003). A fim de reduzir tais problemas, Wright (1921) propôs a metodologia de análise de trilha, que desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica, a qual fundamenta-se na avaliação do efeito de uma variável independente (x) sobre uma variável dependente (y), após a remoção da influência de todas as outras variáveis independentes.

Portanto, o objetivo do trabalho foi estimar a correlação fenotípica e seus efeitos diretos e indiretos dos componentes da parte aérea que estão associados com a distribuição radicular, facilitando a seleção indireta para este caráter.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na safra agrícola 2014/15, na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages-SC, cuja as coordenadas geográficas são 27°47'S de latitude e 50°18'W de longitude e altitude média de 920 metros. Conforme Koppen o clima é cfb temperado (mesotérmico úmido e verão ameno). O solo no local do estudo é um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico, textura argilosa, predominando o substrato siltito + argilito e relevo ondulado.

Foram avaliados dezesseis genótipos de feijão, sendo que quatro são populações fixas (BAF 050, BAF 009, BAF 007 e Uirapuru), e as outras doze são populações segregantes em geração F₆ oriundos de um cruzamento de dialelo completo das quatro populações citadas acima. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com duas repetições. A unidade experimental era composta por seis linhas de quatro metros, e o espaçamento entre linhas era de 0,50 m e entre parcelas de 0,90 m. Nas quatro linhas centrais da unidade foi realizado o plantio de dez sementes por metro linear (nas quais foram avaliados os componentes da parte aérea e do rendimento de grãos), já nas duas linhas externas foi utilizado um espaçamento de 0,50 m entre planta (nas quais foi realizada a avaliação do sistema radicular).

Em relação aos tratos culturais, o plantio foi realizado no modelo convencional, com o revolvimento do solo e os tratos culturais foi conforme a necessidade do solo e da cultura. Já o controle das plantas daninhas foi realizado a capina manual, de acordo com a necessidade.

Para avaliação do sistema radicular foi utilizado o método de Bohm (1979), ou seja, quando os genótipos apresentaram pleno florescimento foram abertos perfis perpendiculares à linha de semeadura, a 5 cm das plantas, e as raízes foram expostas com hastes pontiagudas. Após isso, foi

colocado sobre o perfil, um retângulo com dimensões de 0,50 m de largura por 0,30 m de altura, subdividido em quadriculados com 0,05 m, conforme Apêndice A. O perfil foi fotografado para posterior avaliação da distribuição das raízes das plantas. A câmera fotográfica utilizada foi de 7.2 Mp, a qual foi posicionada a uma distância padrão de 60 cm da grade quadriculada. Por meio da fotografia digital foi determinada a distribuição de raiz no sistema binário (denominação de presença (1) e ausência (0) das raízes em cada quadrícula).

Para a avaliação do ângulo da raiz foi realizado o método de Shovelomics, desenvolvido por Trachsel et al. (2010). As raízes foram escavadas 25-30 cm ao redor do colo da planta, com uma profundidade de 30 cm. Após a remoção do excesso de solo, foi feito a imersão das raízes em um recipiente com água e cerca de 0,5% de detergente, depois disso foi enxaguado apenas com água até a limpeza total das raízes. O ângulo de raízes basais foi então mensurado com auxílio de um gabarito transferidor (Apêndice B).

Para estimar o índice de área foliar foi utilizado um aparelho chamado Accupar LP-80 (Decagon devices, Inc.), que consiste em integrar variáveis como a transmissão e a penetração da luz e as características estruturais da planta, como por exemplo, ângulo e distribuição das folhas. As leituras foram feitas sobre o dossel das plantas e abaixo do dossel (no nível do solo), foram feitas três amostras por parcelas.

Quando as plantas atingiram o ponto de colheita, foram retiradas cinco plantas aleatórias de cada parcela, para posteriormente, serem levadas para o laboratório onde foram avaliados os componentes da parte aérea e do rendimento, sendo estes: estatura das plantas (EST), inserção do primeiro legume (IPL), diâmetro do caule (DC), massa fresca da parte aérea (MFA), número de legumes na planta (NVA), número de grãos por planta (NGA) e rendimento de grãos (REN).

As análises foram realizadas com auxílio dos softwares SAS 9.1 (SAS Institute, 2008) e GENES (CRUZ, 2001). As

correlações fenotípicas foram estimadas pelo método proposto por Steel e Torrie (1980), sendo posteriormente particionadas em efeitos diretos e indiretos através da análise de trilha (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação fenotípica é de grande importância para o melhoramento, porque permite ao melhorista estimar o grau de associação entre os caracteres causados pelos efeitos de ambiente e genéticos, porém apenas o genético é responsável pela fração herdável (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

As estimativas dos coeficientes de correlação simples ou fenotípicas, avaliados para dez caracteres em 12 populações segregantes (geração F6) e quatro genitores fixos de feijão são apresentados na Tabela 1. Em relação à magnitude das correlações entre os caracteres avaliados variou de -0,04 a 0,72. O conhecimento do grau de associação entre caracteres é importante, porque a seleção de um caráter pode alterar o comportamento do outro.

Na interpretação de correlações, três aspectos devem ser considerados: a magnitude, a direção e a significância. Estimativa de coeficiente de correlação positiva sugere uma tendência de uma variável aumentar quando a outra aumenta, correlações negativas indicam que quando uma variável aumenta a outra diminui (NOGUEIRA et al., 2012).

As estimativas das correlações apresentaram uma boa concordância na direção e magnitude da correlação fenotípica para alguns pares de caracteres avaliados. De acordo com a Tabela 1, observa-se que os caracteres inserção do primeiro legume (IPL 0,40), diâmetro de caule (DC 0,42) e índice de área foliar (IAF 0,38) apresentaram um grau de associação elevado com o caráter distribuição radicular (DR), ou seja, estas variáveis contribuem de maneira significativa para o aumento da distribuição radicular. Resultados semelhantes

foram encontrados por Guimarães, Stone e Moreira (2002), onde constataram correlação linear entre índice de área foliar e densidade de comprimento radicular. Outros autores como Bizari et al. (2010) também encontraram correlação linear positiva entre caracteres da parte aérea com a distribuição radicular. Já os demais caracteres avaliados não apresentaram efeitos significativos apontando uma menor estimativa para o valor do coeficiente de correlação com a DR. Segundo Montardo et al. (2003), as baixas correlações entre as variáveis são devido a pouca variabilidade genética, uma vez que esse tipo de análise procura observar uma associação na variação das características em estudo.

Portanto, à medida que aumenta os componentes da parte aérea há também um incremento no sistema radicular, e isso é de grande importância porque permite ao melhorista realizar a seleção indireta, podendo levar a um progresso genético mais rápido e expressivo em um programa de melhoramento. De acordo com Falconer e Mackay (1996), uma das causas para altas correlações é o pleiotropismo, que é quando um gene é responsável pela expressão de mais de um caráter. Essa informação é útil no melhoramento de plantas, pois favorece a seleção simultânea de dois ou mais caracteres, através da seleção de apenas um fenótipo.

Por outro lado, a massa fresca da parte aérea (MFA - 0,006), quando correlacionada com a DR apresentou ausência de associação significativa. De acordo com Falconer e Mackay (1996), esta discordância em magnitude e direção das correlações, revela que as causas de variação genética e de ambiente influenciaram os caracteres por meios de diferentes mecanismos fisiológicos.

O caráter DC revelou um coeficiente de correlação linear significativa entre os caracteres estatura de planta (EST 0,38), inserção do primeiro legume (IPL 0,39), fato este interessante quando se almeja um ideótipo de planta, plantas com maior DC reduz o acamamento em plantas com elevadas

estaturas, e também ocasiona um incremento na IPL que possibilita a colheita mecanizada. Ainda em relação ao caráter DC ocorreu uma relação com caracteres número de legumes por planta (NVA 0,37) e número de grãos por planta (NGA 0,54), esses de grande importância para o aumento da produtividade.

Ainda na Tabela 1 pode-se constatar que o caráter ANG possui correlação significativa, mas com valores negativos em relação ao caráter MFA (-0,52), indicando que ângulo do sistema radicular influencia de forma negativa na relação raiz/parte aérea. Segundo Nielsen et al. (1998) e Fan et al. (2003); Lynch e Brown (2008) o caráter ângulo de raiz (gravitropismo) é fortemente influenciado pelo ambiente, principalmente pela baixa disponibilidade de P no solo que causa muitas vezes modificações na arquitetura do sistema radicular.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação fenotípica entre os caracteres distribuição radicular (DR), estatura da planta (EST), inserção do primeiro legume (IPL), diâmetro do caule (DC), número de vagens por planta (NVA), número de grão por planta (NGA), índice de área foliar (IAF), rendimento da parcela (REN), ângulo de raiz (ANG), massa fresca da parte aérea (MFA). UDESC-IMEGEM, Lages, 2014/2015.

Caracteres	DR	EST	IPL	DC	NVA	NGA	IAF	REN	ANG	MFA
DR	1	0.34	0.40*	0.42*	0.11	0.22	0.38*	0.26	0.34	-0.07
EST		1	0.72*	0.38*	0.05	0.20	0.46*	-0.05	0.23	-0.11
IPL			1	0.39*	0.005	-0.04	0.38*	0.32	0.12	-0.25
DC				1	0.37*	0.54*	0.06	0.07	0.20	-0.34
NVA					1	0.69*	0.038	0.04	0.07	-0.06
NGA						1	0.1	0.06	0.34	-0.22
IAF							1	0.15	0.10	0.09
REN								1	0.21	-0.31
ANG									1	-0.52*
MFA										1

*Significativo a 5% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor, 2016.

O caráter IAF também apresentou uma alta correlação com os caracteres EST (0,46) e IPL (0,38), indicando que plantas com maior área foliar possui elevada estatura e a inserção do primeiro legume é mais alta. Além disso, os caracteres EST/IPL foram os que proporcionaram a maior relação linear (0,72).

Apesar dos coeficientes de correlação ser de grande importância para quantificar a magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres, porém o estudo dessas correlações não corrobora as verdadeiras relações de causa e efeito entre as variáveis explicativas e a principal (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Para

investigar melhor essas relações de causa e efeito foi utilizado o método de análise de trilha desenvolvido por Wright (1921), que avalia o efeito que uma característica dependente (Y) sofre em função de uma característica independente (X), cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (COIMBRA et al., 2004).

As estimativas obtidas pela análise de trilha dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres que estão influenciando a variável DR são apresentadas na Figura 1. Conforme Severino et al. (2002), é importante identificar dentre as características de alta correlação com a variável básica, aquelas com maior efeito direto em sentido favorável à seleção, para que a resposta da seleção indireta seja eficiente.

O somatório dos efeitos diretos e indiretos resulta no coeficiente de correlação. Os caracteres IPL, DC, IAF, ANG e REN evidenciaram os maiores efeitos diretos e coeficientes de correlação com a distribuição radicular (DR), comparativamente aos demais caracteres avaliados.

O caráter EST apresentou um efeito direto de sinal contrário (-0,138) sobre a DR, mas um coeficiente de correlação positivo e alto (0,339). Esse valor ocorreu devido aos efeitos indireto dos caracteres IPL (0,163), DC (0,167), IAF (0,111) e ANG (0,095), indicando que a seleção truncada neste caráter pode não proporcionar ganhos satisfatórios na variável DR. Nesta ocasião, a melhor estratégia é selecionar as variáveis que possuem efeitos indiretos significativos, ou seja, a seleção combinada (COIMBRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2010).

Entre os caracteres envolvidos no desdobramento das correlações, os caracteres DC (0,435), IAF (0,243), ANG (0,406) e IPL (0,227) revelaram uma correlação positiva e efeito direto no mesmo sentido com a variável distribuição radicular, permitindo estabelecer uma associação entre esses caracteres. Portanto, nessa situação a seleção direta sobre os

caracteres DC, IAF, ANG e IPL, é eficiente para melhorar a distribuição radicular.

Toaldo (2012) trabalhando com correlação da distribuição radicular com a parte aérea observou também que as variáveis, diâmetro de caule e estatura foram as que apresentaram maior efeito direto sobre a distribuição radicular. Já Subbarao et al. (1995) observou uma correlação negativa entre o sistema radicular e a parte aérea, trabalhando em regime de deficiência hídrica. Isso se deve ao fato de que plantas em estresse hídrico tendem a alocar mais fotoassimilados no sistema radicular, consequentemente reduzindo a parte aérea. Nestas condições as plantas aumentam o desenvolvimento do sistema radicular como um mecanismo de adaptação para melhorar a absorção de água (SCALON et al., 2011; GONÇALVES, 2013).

Quanto ao IAF sobre a DR apresentou uma correlação total (0,382) e um efeito direto (0,243) sobre a distribuição radicular, resultados semelhantes foram observados pelo autor Toaldo (2012). Já Rocha et al. (2010), obteve correlação tanto positiva quanto negativa entre os caracteres distribuição de raiz e índice de área foliar trabalhando com genótipos mutantes de feijão.

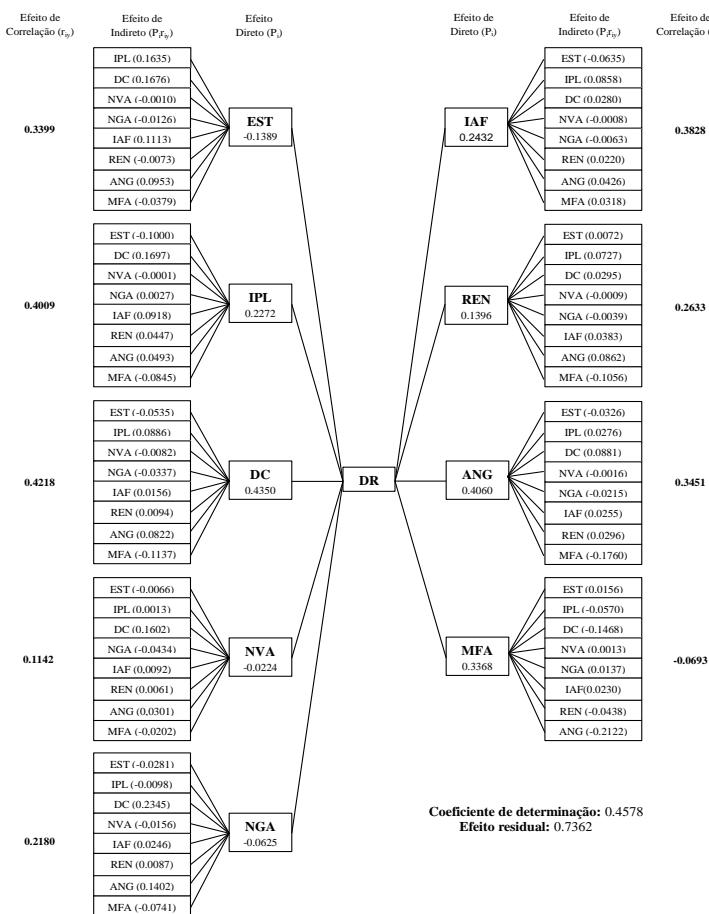
O caráter MFA apresentou um efeito direto positivo sobre a DR que foi anulado pelos efeitos indiretos negativos das variáveis DC, IPL, NGA, REN e ANG, resultando em uma correlação total negativa baixa ou insignificante. Isso mostra que à medida que aumenta a MFA diminui os componentes da produtividade e os da distribuição radicular.

Em relação ao caráter ANG observa-se que ocorreu uma alta correlação positiva (0,343) e efeito direto alto (0,390), indicando que a seleção direta neste caráter pode proporcionar ganhos satisfatórios na variável distribuição radicular. De acordo com trabalhos realizados por Ge, Rubio e Lynch (2000), Lynch e Brown (2001) e Uga et al. (2013), o caráter ângulo de raiz esta diretamente relacionado com a arquitetura

do sistema radicular, por exemplo, raízes com maior ângulo tendem a ter um sistema radicular mais disperso e superficial, com melhor capacidade de absorção de nutrientes, já raízes com menor angulação produzem raízes mais profundas, uma característica mais favorável para a aquisição de água. Segundo estudos realizados por Ho et al. (2005) e por Beebe et al. (2008) é possível selecionar genótipos que possuem uma boa distribuição do sistema radicular tanto na parte mais superficial do solo quanto na mais profunda, ou seja, genótipos completamente adaptados a ambientes com estresses simultâneos de déficit hídrico e baixa disponibilidade de nutrientes.

Em relação aos componentes do rendimento os caracteres NVA e NGA apresentaram um efeito direto negativo (-0,062) e (-0,0022) sobre a DR e um coeficiente de baixa magnitude (0,114) e (0,218), indicando que tanta seleção direta como a indireta deste caráter não prevê ganho satisfatório na distribuição radicular. De acordo com Ramalho, Santo e Zimmermann (1993) e Kurek et al. (2001), o caráter NVA é o que tem maior potencial para ser utilizado na seleção, quando o objetivo é incrementar a produtividade. Toaldo (2012), trabalhando com correlação da distribuição radicular com a parte aérea constatou que genótipos com elevado desenvolvimento vegetativo e radicular tendem a particionar os fotoassimilados para esses caracteres e reduzir para os caracteres responsáveis pelo aumento da produtividade, evidenciando então que há um custo energético alto para a produção de raízes e folhas. Alguns autores como Venuprasad et al. (2002) e Beebe et al. (2008) observaram que a correlação entre produtividade e o sistema radicular em condições de déficit hídrico foi positiva, sugerindo que alguns genes de tolerância à seca são expressos em condições de estresses. Esse mecanismo de tolerância está associado a uma maior capacidade da planta em mobilizar os fotoassintatos nas sementes (RAO, 2001).

Figura 1 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres estatura da planta (EST), inserção do primeiro legume (IPL), diâmetro do caule (DC), numero de vagens (NVA), número de grãos (NGA), índice de área foliar (IAF), rendimento de grãos (REN), ângulo de raiz (ANG), massa fresca da parte aérea (MFA) sobre o caráter distribuição de raiz (DR). UDESC-IMEGEM, Lages SC, 2014/15.



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Já a variável rendimento (REN) apresentou correlação positiva, mas com baixo efeito direto, indicando que o caráter auxiliar pode não proporcionar ganhos satisfatórios na variável básica (DR). Portanto, a melhor estratégia é a seleção simultânea de caracteres, com ênfase nos caracteres cujos efeitos indiretos são altos e significativos (COIMBRA et al., 1999).

O coeficiente de determinação (R^2) apresentou um valor (0,457) inferior ao efeito residual (0,736), mostrando que as variáveis independentes não influenciam totalmente na distribuição radicular. Conforme Carvalho et al. (2002), coeficiente de determinação com valor baixo, pode estar relacionado a efeitos do ambiente, competição por nutrientes e a diferentes mecanismos fisiológicos que controlam a expressão das variáveis. De acordo com Toaldo (2012) e Miguel, Postma e Lynch (2015), a distribuição radicular está sob influências de vários fatores tanto genéticos como ambientais, por exemplo, arquitetura de raiz, plasticidade da raiz em relação à disponibilidade de água e nutrientes, diferentes tipos de solo e a variações ambientais.

2.6 CONCLUSÃO

Os caracteres diâmetro de caule, índice de área foliar, inserção do primeiro legume e ângulo de raiz foram os que apresentaram as maiores correlações positivas com a distribuição radicular podendo auxiliar na seleção indireta.

Os baixos valores dos coeficientes de determinação para os efeitos diretos e indiretos mostram que a seleção indireta para o caráter sistema radicular é dificultada, e que estes efeitos estão sob influências de fatores tanto genéticos como ambientais.

As populações avaliadas não apresentaram relação completa entre seus caracteres, indicando que a melhor

estratégia deverá ser a seleção simultânea de caracteres, com ênfase nos caracteres com efeitos indiretos significativos.

3 CAPITULO II- DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E HÁBITO DE CRESCIMENTO EM FEIJÃO

3.1 RESUMO

Muitos países apresentam baixo rendimento das culturas agrícolas devido à limitada fertilidade dos solos, à crescente diminuição da utilização de adubos e à deficiência hídrica, no entanto, a seleção de genótipos com distribuição radicular ampla com maior capacidade de absorção de água em condições de seca e melhor aquisição de recursos no solo podem contornar ou minimizar esses problemas. Com isso objetivo do trabalho foi estimar a variabilidade genética e associação da distribuição radicular em relação ao hábito de crescimento em linhagens de feijão. Foram utilizadas 10 linhagens de feijão, conduzidas a campo, em um delineamento de blocos casualizados, com três repetições, em 2 anos agrícolas. Para a avaliação do sistema radicular foi realizado o método descrito por Bohm (1979). Os resultados revelaram que existe variabilidade genética para o sistema radicular das linhagens analisadas. Todos os contrastes envolvendo o hábito de crescimento determinado apresentaram diferença significativa, evidenciando que os genótipos de hábito indeterminado são promissores para utilização em blocos de cruzamentos, quando a finalidade é a seleção de cultivares com boas distribuições radiculares.

Palavras-Chave: Deficiência hídrica. Variabilidade genética. Contrastess. Seleção de cultivares.

3.2 ABSTRACT

Many countries have low yield of crops due to limited soil fertility, the increasing decline in the use of fertilizers and water stress, however, the selection of genotypes with extensive root distribution with greater capacity for water absorption in dry conditions and best acquisition of resources in the ground can overcome or minimize these problems. With this objective was to estimate the genetic variability and association of root distribution in relation to the growth habit in bean lines. We used 10 bean lines, led the field in a randomized block design with three replications in two agricultural years. For the evaluation of the root system was performed with the method described in Bohm (1979). The results revealed that genetic variability exists for the root system of the analyzed strains. All contrasts involving the particular growth habit showed significant difference, indicating that the habit indeterminate genotypes are promising for use in crossing blocks, when the aim is the selection of cultivars with good root distributions.

Keywords: Water deficit. Genetic diversity. Contrasts. Selection of cultivars.

3.3 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais importantes, pois é fonte de nutrientes para mais de 500 milhões de pessoas nos países em desenvolvimento (HO et al., 2005). O feijoeiro possui duas formas de hábito de crescimento o determinado e o indeterminado. O hábito de crescimento determinado caracteriza-se por ter o caule e os ramos laterais terminando em uma inflorescência (inflorescência terminal) e possuir um número limitado de nós; a floração inicia-se do ápice para a base da planta. O indeterminado é caracterizado por apresentar um caule principal com crescimento contínuo,

numa sucessão de nós e entrenós; as inflorescências são axilares, e a floração inicia-se da base para o ápice da planta. Condições do ambiente podem influenciar o hábito de crescimento do feijoeiro, que deve ser avaliado durante a floração e a maturação fisiológica (EMBRAPA, 2016).

De acordo com o hábito de crescimento e algumas outras características morfológicas da planta, o feijoeiro foi classificado em quatro tipos.

O tipo I inclui as cultivares de hábito de crescimento determinado e arbustivo, o crescimento vegetativo é interrompido com o início da fase reprodutiva. O florescimento ocorre de maneira uniforme e em um período relativamente curto, sendo mais precoce que as cultivares de hábito indeterminado. Apresentam menor número de nós e entrenós mais curtos (SANTOS; GAVILANES, 2006).

O tipo II são plantas eretas e arbustivas, possuem geralmente mais de 12 nós na haste principal e são chamados de “guia” ou ramo curto. Apresentam um padrão de ramificação limitado, de ângulo agudo com a haste principal, as vagens geralmente, se localizam na porção média da planta (KELLY, 2001).

As cultivares do tipo III são semitrepadoras, possuem maior número de nós e entrenós mais longos em relação às do tipo II. Devido à falta de resistência do caule durante o enchimento de grãos, ao maior número de vagens nos nós mais baixos e ao maior número de ramos com ângulo aberto, as plantas se tornam prostradas (SANTOS; GAVILANES, 2006).

O hábito de crescimento IV apresenta plantas com grande capacidade trepadora. A haste principal possui entre 20 e 30 nós e pode alcançar mais de 2 m de comprimento (CHECA; CEBALLOS; BLAIR, 2006). Nas cultivares desse tipo, o período de florescimento é o mais amplo, podendo-se observar em uma planta vagens maduras e flores ao mesmo tempo.

A cultura do feijão é extremamente sensível às intempéries climáticas, principalmente pela deficiência hídrica, o que resulta em redução significativa de produtividade de grãos. A seca e os solos defasados em nutrientes são as principais causas para a redução da produção agrícola em muitos países, afetando mais de 80% das regiões de produção de feijão no mundo (CIAT, 2001).

A ocorrência de elevadas instabilidades climáticas, crescentes limitações nas reservas mundiais de fertilizantes e a redução do seu uso, torna fundamental a busca por novas alternativas para reduzir estes problemas. A seleção de genótipos adaptados aos estresses abióticos pode ser realizada através de fatores como a profundidade, eficiência e distribuição do sistema radicular (LYNCH, 2007). A distribuição radicular é uma característica importante, pois determina o volume de solo explorado e dessa forma a capacidade de absorção de nutriente, e como consequência, proporciona melhor adaptação do genótipo ao ambiente de cultivo. Dessa forma, uma das maneiras de minimizar os impactos dos efeitos abióticos sobre a produtividade de grãos pode ser através da manipulação do sistema radicular das plantas, de forma a aperfeiçoar a capacidade de absorção de água e nutrientes (DORLODOT et al., 2007).

A maneira mais eficiente e de menor custo para reduzir as oscilações da produtividade de grãos causadas pelos estresses abióticos, é através do melhoramento de plantas, sendo possível incorporar genes de interesse nas cultivares (ROCHA, 2012). Portanto, o melhoramento genético é de extrema importância para o desenvolvimento de cultivares tolerantes a estresses abióticos (SINGH, 2007). Desta forma, a disponibilização de cultivares adaptadas à períodos prolongados de déficit hídrico e a uma maior capacidade na aquisição de recursos do solo será essencial para a manutenção da produção agrícola brasileira e mundial em níveis que

possam alimentar uma população em constante crescimento (TEIXEIRA, 2014).

Nesse sentido, é de importância os estudos para verificar a existência da variabilidade genética e associação da distribuição radicular em relação ao hábito de crescimento em linhagens de feijão.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na safra agrícola 2014/15 e 2015/16, na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages-SC, cuja as coordenadas geográficas são 27°47'S de latitude e 50°18'W de longitude e altitude média de 920 metros. Conforme Koppen o clima cfb temperado (mesotérmico úmido e verão ameno). O solo no local do estudo é um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico, textura argilosa, predominando o substrato siltito + argilito e relevo ondulado.

Na primeira safra foram utilizadas 8 linhagens de feijão, sendo elas o BAF07 (Tipo II), BAF45 (Tipo III), IPR 139(Tipo II), IPR Tangará (Tipo II), FTS Soberano (Tipo II), CHIB 06 (Tipo I), BRS Radiante (Tipo I), Carioca Precoce (Tipo I). Já na segunda safra foram incluídas mais duas linhagens além das 8 descritas anteriormente, sendo elas a População 1 (Tipo II) e a População 10 (Tipo II), populações essas em geração F7. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições. A unidade experimental foi composta por seis linhas de quatro metros, e o espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e entre parcelas de 0,90 m. Nas quatro linhas centrais da unidade foi realizado o plantio de dez sementes por metro linear (nas quais foram avaliados os componentes da parte aérea e do rendimento de grãos), já nas duas linhas externas foi utilizado um espaçamento de 0,50 m

entre planta (nas quais foi realizada a avaliação do sistema radicular).

Em relação aos tratos culturais, o plantio foi realizado no modelo convencional, com o revolvimento do solo e os tratos culturais foi conforme a necessidade do solo e da cultura. Já o controle das plantas daninhas foi realizado com capina manual, de acordo com a necessidade.

Para a avaliação do sistema radicular foi utilizado o método de Bohm (1979). Quando os genótipos apresentaram pleno florescimento foram abertos perfis perpendiculares à linha de semeadura, a 5 cm das plantas, e as raízes foram expostas com hastes pontiagudas. Após isso, foi colocado sobre o perfil, um retângulo com dimensões de 0,5 m de largura por 0,3 m de altura, subdividido em quadriculados com 0,05 m. O perfil foi fotografado para posterior avaliação da distribuição das raízes das plantas. A câmera fotográfica utilizada foi de 7.2 Mp, sendo posicionada a uma distância padrão de 60 cm da grade quadriculada. Por meio da fotografia digital foi determinada a distribuição de raiz no sistema binário (denominação de presença (1) e ausência (0) das raízes em cada quadrícula).

A análise dos dados foi obtida por meio do procedimento *GLIMMIX* (modelo linear generalizado misto) do programa estatístico SAS (SAS Institute, 2007). As hipóteses foram testadas pela análise de variância univariada (*univariate analysis of variance*) a 5% de probabilidade de erro. O modelo estatístico univariado empregado foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + blc_i + gen_j + ano_k + gen * ano_{jk} + e_{ijk}$$

μ - efeito da média geral; blc_i - efeito do i-ésimo nível do fator bloco; gen_j - efeito do j-ésimo nível do fator genótipo; ano_k - efeito do k-ésimo nível do fator ano, $gen * ano_{ijk}$ - efeito da interação do j-ésimo nível do fator genótipo com do k-ésimo nível do fator ano e e_{ijkl} - efeito do resíduo.

Para discriminar os tratamentos, foram realizados contrastes para o caráter distribuição radicular, considerando o

habito de crescimento *vs* as estimativas das médias transformadas das respectivas linhagens.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância para o caráter distribuição radicular revelou efeitos significativos para o fator genótipo, evidenciando que existe variabilidade genética entre os genótipos (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Lynch e Brown (2012) e Teixeira (2014), que encontraram variações genéticas no sistema radicular do feijão, indicando que a seleção do caráter é promissora e pode proporcionar ganhos satisfatórios na seleção.

Tabela 2 - Análise de variância e seus respectivos graus de liberdade (GL) correspondente ao caráter distribuição radicular em 10 cultivares de feijão, nos anos de 2015 e 2016. UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.

Tratamentos	GL	Valor F	Pr > F
Bloco	2	8.65	0.0002
Genótipo	9	11.05	< 0.0001
Ano	1	91.45	< 0.0001
Genótipo*Ano	7	1.41	0.1954

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

O efeito de ano é caracterizado como um fator imprevisível, apresentando diferença significativa entre os anos, e este fato se deu principalmente em virtude do excesso de chuva ocorrida no ano de 2016.

A interação genótipo x ambiente é um dos principais problemas durante a fase de seleção ou de indicação de cultivares pelos programas de melhoramento. Portanto, a

identificação de cultivares de feijão com ampla adaptabilidade e maior estabilidade fenotípica constitui uma alternativa para minimizar os efeitos da interação (RIBEIRO et al., 2008). Em relação à interação genótipo x ano não houve significância, ou seja, não ocorreu interação.

A Tabela 3 apresenta as médias originais e transformadas para a distribuição radicular dos genótipos a cada ano. A média do caráter distribuição radicular no ano de 2015 variou de 0,5418 a 0,3245, sendo que os genótipos BAF 07 (Tipo II), BAF 45 (Tipo III) e o FTS Soberano (Tipo II) foram os que apresentaram as maiores médias para o caráter distribuição radicular (0,5418), (0,5139) e (0,4833). De acordo com Lynch (2014), plantas que apresentam um sistema radicular bem distribuído no solo possuem uma maior eficiência na absorção de nutrientes e na aquisição de água, sem um alto custo metabólico. Já os genótipos CHIB 06, BRS Radiante e Carioca Precoce, todos genótipos de hábito de crescimento do Tipo I apresentaram as menores médias (0,3718), (0,3245) e (0,3746), demonstrando menor distribuição radicular desses genótipos ao longo do perfil do solo.

Em relação ao ano 2016 a média da variável distribuição radicular variou de 0,3858 a 0,2022, onde os genótipos que proporcionaram as médias significativas e maiores foram BAF 07, BAF45, FTS Soberano, População 1 e População 10. Sendo que o genótipo BAF 07 foi o que apresentou a maior média novamente, 38,33% das quadrículas confeccionadas, ou seja, entorno de 23 quadrículas das 60 avaliadas apresentaram presença de raiz.

Tabela 3 - Médias observadas (μO) e médias transformadas (μT) ($\rho = \ln(\mu/1-\mu)$) para o caráter distribuição de radicular em genótipos de feijão, em diferentes anos 2015 e 2016. UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.

Genótipos	Ano 2015		Ano 2016	
	μO	μT	μO	μT
BAF 07	0.5418	0.1675	0.3858	- 0.4651
BAF 45	0.5139	0.0556	0.3691	- 0.5362
IPR 139	0.4554	- 0.1789	0.2995	- 0.8498
IPR Tangará	0.4192	- 0.3261	0.3746	- 0.5124
BRS Soberano	0.4833	- 0.0669	0.3273	- 0.7204
CHIB 06	0.3718	- 0.5243	0.2439	- 1.1316
BRS Radiante	0.3245	- 0.7331	0.2022	- 1.3726
Carioca Precoce	0.3746	- 0.5124	0.3078	- 0.8103
População 1	-	-	0.3607	- 0.5723
População 10	-	-	0.3190	- 0.7586

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Na Tabela 4 pode ser visualizado o resultado das comparações entre os genótipos BAF 07, BAF45 e o FTS Soberano. Observa-se que não apresentaram diferenças significativas nos dois anos avaliados, demonstrando que esses genótipos são promissores para utilização em blocos de cruzamentos ou até mesmo para o cultivo pelos agricultores em ambientes com estresse hídrico e baixa disponibilidade de nutrientes. Segundo estudos sobre melhoramento do sistema radicular realizado por Toaldo (2012), o BAF 07 é um genitor promissor em blocos de cruzamentos, devido à sua elevada

expressividade dos genes responsáveis pela distribuição radicular em seus descendentes.

Os genótipos CHIB 06 (I) e o BRS Radiante (I) foram os que proporcionaram os menores valores médios (0,2439) e (0,2022) na safra de 2016, proporcionando assim uma redução média entorno de 12% em relação ao ano anterior. Essas cultivares diferiram significativamente em relação aos outros genótipos avaliados, evidenciando que esses genótipos apresentam uma distribuição radicular pequena. De acordo com Rosado (2012) plantas com pouca distribuição radicular tem uma baixa capacidade de absorção de nutrientes, principalmente o fósforo que possui pouca mobilidade na solução do solo, e também estão mais sujeitas a danos causados por estresse hídrico.

No experimento realizado em 2016 foi acrescentado a População 1 e a População 10, oriundos de um programa de cruzamento o qual teve objetivo de selecionar indivíduos com maior distribuição radicular. Como esses genótipos apresentaram uma boa distribuição radicular durante o programa de melhoramento do sistema radicular e estão em um estágio avançado de homozigose, foram utilizados como testemunhas para comparar com as outras cultivares. Eles apresentaram uma distribuição radicular média de (0,3607) e (0,3190) diferindo estatisticamente apenas dos cultivares CHIB 06 (0,2439) e do BRS Radiante (0,2022), genótipos pertencentes ao hábito de crescimento do tipo I.

Tabela 4 - Diferença mínima significativa de médias entre genótipos de feijão para o caráter distribuição radicular entre os anos 2015 e 2016 (estimativas transformadas $\rho = \ln(\mu/1-\mu)$). UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.

	BAF 07	BAF 45	IPR 139	IPR TANG	BRS SOB.	CHIB 06	BRS RAD.	CAR. PRE.	POP. 1	POP. 10
BAF 07	-	0.11	0.34*	0.49*	0.23	0.69*	0.90*	0.68*	-	-
BAF 45	0,07	-	0.23	0.38*	0.12	0.58*	0.79*	0.57*	-	-
IPR 139	0.38*	0.31*	-	0.15	-0.11	0.34*	0.55*	0.33*	-	-
IPR TANG.	0.05	-0.02	-0.34*	-	-0.026	0.20	0.41*	0.18	-	-
BRS SOB.	0.25	0.18	-0.13	0.21	-	0.46*	0.66*	0.44*	-	-
CHIB 06	0.66*	0.59*	0.28	0.62*	0.41*	-	0.21	-0.01	-	-
BRS RAD.	0.91*	0.83*	0.52*	0.86*	0.65*	0.24	-	-0.22	-	-
CAR. PRE.	0.34*	0.27	-0.04	0.30	0.09	-0.32	-0.56*	-	-	-
POP. 1	0.11	0.03	-0.28	0.06	-0.15	-0.56*	-0.80*	-0.24	-	-
POP. 10	0.29	0.22	-0.09	0.24	0.04	-0.37*	-0.61*	-0.05	0.18	-

*Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

No quadrante de cima ano 2015 e no quadrante abaixo ano 2016.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Também podemos observar que as médias de todos os genótipos na safra de 2016 obtiveram valores menores do que em relação ao ano de 2015, isso ocorreu devido à influência das condições climáticas. Segundo relatórios da CONAB (2016) e EPAGRI (2016), a cultura do feijão semeado na primeira safra, no estado de Santa Catarina foi prejudicada pela quantidade excessiva de chuvas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Sabe-se que o excesso de chuva além de prejudicar o desenvolvimento da parte aérea das plantas, também influencia diretamente na redução do sistema radicular. Embora a distribuição radicular seja um caráter herdável, mas é complexa e altamente influenciada pelos efeitos do ambiente (MIGUEL; POSTMA; LYNCH, 2015).

Um dos caracteres mais importantes para o feijoeiro é o hábito de crescimento, visto que é essencial para a descrição das cultivares, na escolha das mais adequadas para o plantio nas mais variadas condições culturais e, também, para a obtenção de novas cultivares, embora o hábito de crescimento de alguns cultivares podem variar, dependendo do ambiente. Essa classificação auxilia o melhoramento para aperfeiçoar a adaptação das plantas aos diversos ambientes e sistemas de cultivo em que os grãos são cultivados (SINGH, 2001). Portanto, os genótipos foram agrupados de acordo com seu hábito de crescimento com o objetivo de identificar alguma relação com o caráter distribuição radicular.

Para verificar se existe relação da distribuição radicular quanto ao hábito de crescimento, foi realizado uma comparação das estimativas das médias através da utilização de contrastes (Tabela 5), os contrastes previamente definidos foram: Tipo I vs Tipo II, Tipo I vs Tipo III e Tipo II vs Tipo III.

Tabela 5 - Contrastess entre os diferentes hábitos de crescimento da cultura do feijão para a variável distribuição radicular entre os anos 2015 e 2016.
UDESC-IMEGEM, Lages, 2015/2016.

Contrastes	Estimativas	
	Ano 2015	Ano 2016
I vs II	- 1.4664*	- 1.3752*
I vs III	- 0.6456*	- 0.5686*
II vs III	0.1568	0.1102

*Significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste de Student.
Fonte: produção do próprio autor, 2016.

De acordo com os resultados encontrados nos contrastes, percebe-se que os genótipos com hábito de crescimento determinado foram diferentes significativamente aos de hábito indeterminado, ou seja, os genótipos do Tipo I apresentaram valores menores que os do Tipo II e III, portanto, obtiveram uma menor distribuição do sistema radicular, indicando que possíveis cruzamentos dos genótipos com hábito de crescimento do tipo I entre si diminuem a possibilidade de obtenção de genótipos com desempenho superior para a característica distribuição radicular. Já os genótipos do Tipo II e III obtiveram as maiores médias e não apresentaram diferença significativa entre eles, mostrando que genótipos de hábito indeterminado tem uma melhor distribuição do sistema radicular no solo. Isso ocorre provavelmente porque plantas de hábito indeterminado são plantas mais altas, precisando de um sistema radicular maior para ter sustentação, e também porque estas plantas não param o seu ciclo vegetativo necessitando uma produção maior de fotoassimilados. Trindade e Araújo (2014) estudando variabilidade das características da raiz em feijão, concluíram que genótipos de hábito indeterminado do tipo II e III apresentaram maior massa de raiz, área de raízes e comprimento de raízes do que os genótipos dos grupos I e IV em solos com suprimento ilimitado de Fósforo. Segundo Beebe et al., (2013), genótipos com hábito de crescimento do tipo II e III, apresentam uma maior resistência à seca quando comparado com os do Tipo I e IV, isso porque possuem melhor distribuição radicular maximizando a sua eficiência na aquisição de água no solo para a transpiração, sustentando as taxas de câmbio de gás que contribuem para um maior rendimento de grãos. Conforme Mekbib (2003), genótipos do grupo II e III possuem melhor capacidade de recuperações em condições de estresses, não afetando tanto a produtividade. Reforçando a evidência de que o hábito de crescimento está relacionado a características do sistema radicular e que desempenha um papel importante na adaptação de feijão em

condições de estresses abióticos (CICHY; SNAPP; BLAIR, 2009).

Além dos genótipos com hábito de crescimento indeterminado (Tipo II e III) apresentam maior distribuição radicular e melhor adaptação a ambientes com estresses hídricos, na maior parte das vezes também se mostram mais produtivos. Segundo relatos plantas com hábito de crescimento indeterminado apresentam um potencial produtivo maior que as plantas de hábito determinado, por produzirem mais vagens por planta e também mais sementes por vagem (DAWO; SANDERS; PILBEAM, 2007; ZILIO, 2010; PINHEIRO, 2015).

Portanto genótipos com hábito de crescimento indeterminado são promissores para utilização em blocos de cruzamentos, quando a finalidade é a seleção de cultivares com boas distribuições radiculares adaptadas há ambientes com estresse hídrico e baixa disponibilidade de nutrientes.

3.6 CONCLUSÃO

Existe variabilidade genética na distribuição radicular entre as linhagens de feijão, evidenciando que o caráter pode proporcionar ganhos satisfatórios na seleção.

Plantas com hábito indeterminado apresentam maior distribuição radicular do que as plantas de hábito determinado, ou seja, plantas de hábito indeterminado são mais promissoras para utilização em blocos de cruzamentos, quando a finalidade é a seleção de cultivares adaptadas a ambientes com estresses.

4 CONCLUSÃO GERAL

A mudança climática global tende a agravar cada vez mais os estresses abióticos nas plantas, aumentando as temperaturas o estresse hídrico, e acelerando a degradação da fertilidade do solo. Diante deste conjunto de desafios,

precisamos desenvolver sistemas agrícolas com maior produtividade e resistência que, ao mesmo tempo usem os recursos naturais limitados de forma mais eficiente (LYNCH; BROWN, 2012).

Portanto, a adaptação das plantas cultivadas, através do melhoramento genético deverá mostrar participação efetiva, com desenvolvimento de cultivares com maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. A variação genotípica para aquisição de recursos do solo pode ser amplamente explorada em programas de melhoramento de culturas que historicamente focaram em plantas adaptadas a sistemas de altos insumos, e que raramente empregaram características das raízes como critério de seleção.

A variabilidade genética é o principal interesse para o melhorista, pois sem ela não há progresso no melhoramento de plantas. A busca pela variabilidade genética é uma importante ferramenta para programas de melhoramento, pois, ainda que de forma incipiente, pelo pequeno número de genótipos avaliados, pode ser afirmado que existe variabilidade genética na distribuição radicular entre as linhagens de feijão, e que genótipos com hábito de crescimento indeterminado possuem maior distribuição radicular quando comparados com genótipos de hábito de crescimento determinado, mostrando que plantas de hábito indeterminado são mais promissoras para a utilização em blocos de cruzamentos, quando o objetivo é a seleção de cultivares adaptadas a ambientes com estresses hídrico.

Mas a melhoria do sistema radicular deve estar vinculada ao melhoramento da parte aérea da planta. Segundo pesquisas existem mecanismos fisiológicos na planta que controlam a relação parte aérea/sistema radicular, de maneira que a relação em períodos de deficiência hídrica é diferente de períodos com suprimento hídrico normal.

A seleção de plantas com maior sistema radicular deve estar se correlacionando positivamente com os componentes da parte aérea e principalmente com o rendimento, e este pode ser

um caminho promissor para a obtenção de genótipos com maior eficiência na aquisição de água e na absorção de nutrientes. Caracteres da parte aérea como diâmetro de colmo, índice de área foliar e inserção do primeiro legume apresentaram as maiores correlações positivas com a distribuição radicular podendo auxiliar na seleção indireta. No entanto, as populações não apresentaram relação completa entre os caracteres, indicando que a seleção simultânea é a melhor estratégia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, S.R. et al. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.
- BEEBE, S.E. et al. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 2, p. 582-592, 2008.
- BIZARI, D.R. et al. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 172–183, 2010.
- BOHM, W. Methods of studing root systems. **Springer-Verlag**: Berlin, p.188, 1979.
- CARVALHO, C.G.P. et al. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 311-320, 2002.
- CHECA, O.; CEBALLOS, H.; BLAIR, M.W. Generation means analysis of climbing ability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Heredity**, Oxford, v. 97, n. 5, p. 456-465, 2006.
- CIAT. **International Center for Tropical Agriculture.** Annual Report, 2000. Cali, Colombia, 2001.

CICHY, K.A.; SNAPP, S.S.; BLAIR, M.W. Plant growth habit, root architecture traits and tolerance to low soil phosphorus in an Andean bean population. **Euphytica**, Nova Yorque, v. 165, n. 2, p. 257-268, 2009.

CRUZ, C.D. **Programa GENES – Versão Windows, aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, p.648, 2001.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, p.579, 2003.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. Viçosa: UFV, p.390, 1997.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 4^a ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 1, p. 179-181, 2012.

COIMBRA, J.L.M. et al. Análise de trilha 1: análise do rendimento de grãos e seus componentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 213-218, 1999.

COIMBRA, J.L.M. et al. Análise de trilha dos componentes do rendimento de grãos em genótipos de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1421-1428, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento.
Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acessso: em 01 nov. de 2015.

DAWO, M.I.; SANDERS, F.E.; PILBEAM, D.J. Yield, yield components and plant architecture in the F3 generation of

common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) derived from a cross between the determinate cultivar 'Prelude' and an indeterminate landrace. **Euphytica**, Nova Iorque, v. 156, n. 1, p. 77-87, 2007.

DORLODOT, S. et al. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. **Plant Science**, Amsterdam, v. 12, n. 10, p. 474-481, 2007.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG0191311200215101.html>>. Acesso em: em jun. de 2016.

EPAGRI. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2014-2015**. Florianópolis: Epagri, p.312, 2015.

EPAGRI. **Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina**. Boletim Agropecuário, Florianópolis, v. 34, p. 33, 2016.

FALCONER, D.S.; MACKAY T.F.C. Introduction to Quantitative Genetics. 4. London: **Longman**, p. 463, 1996.

FAN, M. et al. Physiological roles of aerenchyma in phosphorus-stressed roots. **Functional Plant Biology**, Newport, v. 30, n. 5, p.493-506, 2003.

FAO. **Faostat**. Roma: FAO. 2014. Disponível em:<<http://faostat.fao.org>>. Acessado em: 03/11/2014.

FUSCALDI, K.D.C.; PRADO, G.R. Análise econômica da cultura do feijão. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 5, p. 17-30, 2005.

GE, Z.; RUBIO, G.; LYNCH, J.P. The importance of root gravitropism for inter-root competition and phosphorus acquisition efficiency: Results from a geometric simulation model. **Plant and Soil**, Crawley, v. 218, n. 1, p. 159-171, 2000.

GONÇALVES, J.G.R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) tolerantes à seca**. 2013. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, A.A.J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, 2002.

HO, M.D. et al. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. **Functional Plant Biology**, Newport, v.32, n.8, p.737-748, 2005.

KELLY, J.D. Remaking bean plant architecture for efficient production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 7, n. 1, p. 109-143. 2001.

KUREK, A.J. et al. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 1, p. 29-32, 2001.

LYNCH, J.P. Roots of second green revolution. **Australian Journal of Botany**, Darwin, v. 55, n. 1, p. 493-512, 2007.

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.

LYNCH, J.P. Root phenes that reduce the metabolic costs of soil exploration: opportunities for 21st century agriculture. **Plant, Cell & Environment**, Hoboken, v. 38, n. 9, p. 1775–1784, 2014.

LYNCH, J.P.; BROWN, K.M. Topsoil foraging: an architectural adaptation to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, Crawley, v. 237, n. 2, p. 225-237, 2001.

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

LYNCH, J.P.; BROWN, K.M. New roots for agriculture: exploiting the root phenome. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 367, n. 1595, p. 1598-1604, 2012.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em:
<<http://www.agricultura.gov.br>>. Acessado em novembro de 2015.

MEKBIB, F. Yield stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Euphytica**, Nova Yorque, v. 130, n. 2, p. 147-153, 2003.

MIGUEL, M.A.; POSTMA, J.A.; LYNCH, J.P. Phene synergism between root hair length and basal root growth angle for phosphorus acquisition. **Plant Physiology**, Malden, v. 167, p. 1430–1439, 2015.

MONTARDO, D.P. et al. Análise de trilha para rendimento de sementes em trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Revista**

Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1076-1082, 2003.

MUÑOZ-PEREAA, C.G. et al. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science**, Madison v. 46, n. 5, p. 2111-2120, 2006.

NIELSEN, K. L. et al. Effects of phosphorus availability and vesicular-arbuscular mycorrhizas on carbon budget of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **New Phytologist**, Lancaster, v. 139, n. 4, p. 647-656, 1998.

NOGUEIRA, A.P.O. et al. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 28, n. 6, p. 887-888, 2012.

OLIVEIRA, E.J. et al. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 855-862, 2010.

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

RAO, I.M. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. **Handbook of plant and crop physiology**, Nova Iorque. p. 583-613, 2001.

RIBEIRO, N.D. et al. Adaptação e estabilidade de produção de cultivares e linhagens-elite de feijão no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38 n. 9, p. 2434-2440, 2008.

ROCHA, F. et al. Root distribution in common bean populations used in breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 40-47, 2010.

ROCHA, F. **Sistema radicular de plantas com enfoque na criação e seleção de genótipos de feijão adaptados ao Planalto Serrano**. 2012. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

ROSADO, R.D.S. **Caracterização do sistema radical do feijoeiro e seu uso no melhoramento genético**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa/ UFV, Viçosa, 2012.

SANTOS, J.B.; GAVILANES, M.L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão**. UFV. Viçosa, ed.2, p. 41-65, 2006.

SAS. Institute Inc. SAS® 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft. Cary: SAS Institute Inc, p.212, 2007.

SCALON, S.P.Q. et al. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SEVERINO, L.S. et al. Associação da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1467-1471, 2002.

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 118-124, 1995.

SINGH, S.P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, 2001.

SINGH, S.P. Drought resistance in the race Durango dry bean landraces and cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 5, p. 1219-1225, 2007.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and producers of statistics: a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, p. 631, 1980.

SUBBARAO, G.V. et al. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Review in Plant Science**, San Francisco, n. 14, n. 6, p. 469-523, 1995.

TEIXEIRA, A. **Caracterização radicular de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) e correlação com o déficit hídrico**. 2014. Dissertação (mestrado) – Instituto Agronômico de Campinas/ IAC, Campinas, 2014.

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. et al. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays L.*) root architecture in the field. **Plant Soil**, Crawley, v. 341, n. 1, p. 75-87, 2010.

TRINDADE, R.S.; ARAÚJO, A.P. Variability of root traits in common bean genotypes at different levels of phosphorus supply and ontogenetic stages. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1170-1180, 2014.

UGA, Y. et al. Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. **Nature Genetics**, New York, v. 45, p. 1097-1102, 2013.

WANDER, A.E.; FERREIRA, C.M. **Consumo de Feijão**. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_62_1311200215103.html>. Acesso em: 10 de nov. de 2014.

WASSON, A. P. et al. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n. 9, p. 3485-98, 2012.

WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate change impacts on global food security. **Science**, Washington, v. 341, n. 6145, p. 508-513, 2013.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal Agriculture Research**, Washington, v. 20, n. 7, p.557-585, 1921.

ZILIO, M. **Potencial de uso de genótipos crioulos de feijão no Oeste e Planalto Sul Catarinense quanto ao desempenho agronômico, qualidade tecnológica e nutricional dos grãos**. 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Imagem digital demonstrando as raízes expostas no perfil do solo e as quadrículas em que se avaliou a presença e ausência de raiz até a camada de 30cm de solo.



APÊNDICE B - O ângulo de raízes basais foi mensurado com auxilio de um gabarito transferidor.

