

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Eficiência de Utilização e de Aquisição ao Fósforo por Cultivares de Aveia-branca

Jonas Manica

Passo Fundo

2017

Jonas Manica

Eficiência de Utilização e de Aquisição ao Fósforo por Cultivares de Aveia-branca

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de mestre em Agronomia.

Orientador:
Prof. Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy

Passo Fundo

2017

CIP – Catalogação na Publicação

M278e Manica, Jonas

Eficiência de utilização e de aquisição ao fósforo por cultivares de aveia-branca / Jonas Manica. – 2017.

85 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2017.

1. Aveia. 2. Plantas – Nutrição. 3. Adubos e fertilizantes. 4. Compostos organofosforados. I. Escosteguy, Pedro Alexandre Varella, orientador. II. Título.

CDU: 631.85

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E DE AQUISIÇÃO AO FÓSFORO POR CULTIVARES DE
AVEIA-BRANCA”

Elaborada por

Jonas Manica

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas

Aprovada em: 12/05/2017
Pela Comissão Examinadora

Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Dra. Nadia Canali Lângaro
FAMV - UPF

Dra. Eunice Oliveira Calvete
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia

Dr. Adônis Moreira
Embrapa Soja

Dr. Hélio Carlos Rocha
Diretor FAMV

Aos meus pais,

Helder Manica,

Maria de Lurdes Canali Manica;

aos meus irmãos,

Raquel Manica,

Matias Manica,

meus sinceros agradecimentos pelo apoio para seguir nesta caminhada

À minha amada,

Flávia Biazus,

que sempre me depositou carinho, compreensão e confiança

Ao amigo, além de orientador,

Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy,

por ter paciência, dedicação e atenção

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Com imensa alegria agradeço a todos que de uma forma auxiliaram e contribuíram para que esta dissertação se concretizasse, que através das dificuldades, me possibilitaram força e apoio para que isso fosse possível. Através de palavras breves quero de uma forma singela transmitir a gratidão por imensa força que tiveram me passado. Desta forma, estendo meus agradecimentos:

A Deus, pela vida, saúde, e companheiro nas horas mais difíceis, e possibilitado que tudo isso acontecesse.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Ao PPGAgro por disponibilizar a oportunidade de realização do curso de mestrado.

Aos meus pais, Helder e Maria (Dinha), pela vida, possibilidade de estudo, compreensão, carinho e incentivo, por imenso carinho e alegria que tem me passado. Utilizo o exemplo que tem me passado em relação ao amor ao próximo, honestidade, sinceridade, dedicação ao que se fez.

Aos meus irmãos Raquel e Matias, por incentivo ao estudo, carinho e amizade entre nós, que tem me fortalecido.

A minha amada Flávia, que ao longo do tempo tem me incentivado, transmitido confiança e segurança, além do amor e carinho demonstrado.

Ao meu orientador, Dr. Pedro Alexandre Varella Escostegy, por imensa paciência e dedicação, juntamente com excelente orientação e demonstração de excelência como profissional e pessoa.

À professora Dra. Nadia Canali Lângaro pela disponibilidade das sementes para execução do experimento.

À professora Dra. Eunice Oliveira Calvete, pela disponibilidade do software para avaliação do sistema radicial das plantas.

Aos meus colegas e amigos do Programa de Pós Graduação, em especial a Osvaldo, Bruno, Mariele, Rafael, Douglas e Wilian, pela amizade e aprendizagem.

Aos integrantes e estagiários do laboratório de Química e Fertilidade do Solo estendo meu agradecimento por auxílio nas atividades, por uma amizade construída, e companheirismo. Aos colegas de laboratório que me auxiliaram no conhecimento das técnicas e procedimento das amostras, em especial a Mara, Márcia, Kátia e Neiva.

Aos professores integrantes do PPGAgro e FAMV/UPF, por um amplo conhecimento transmitido.

Desse modo, a todos de contribuíram e auxiliaram para a realização deste sonho para mim, meu sincero.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Genótipos de aveia-branca com maior eficiência nutricional em relação ao fósforo (P) produzem mais grãos, com menor quantidade aplicada de fertilizantes fosfatados, favorecendo a produção agrícola em solos com baixo nível disponível desse nutriente. Com o trabalho, objetivou-se verificar se há variabilidade intraespecífica em aveia quanto à eficiência nutricional de P. Foram utilizadas oito cultivares de aveia-branca e três níveis de disponibilidade de P: baixo (0,66 - 3,73 mg/dm³), médio (3,8 – 7,8 mg/dm³) e alto (7,8 – 11,4 mg/dm³), de um Latossolo Vermelho argiloso. O experimento foi realizado em estufa agrícola, no ano de 2015. As unidades experimentais foram vasos plásticos. Na maturação fisiológica, avaliou-se o número de afilhos e de grãos, a massa seca e a concentração de P da parte aérea (colmo, folhas, grãos) e da raiz, a massa de mil grãos e de grãos, o volume, a área e o diâmetro do sistema radicial. As cultivares com maior eficiência nutricional se destacaram pela maior eficiência de uso de fósforo (EUP) e isso foi devido ao acúmulo de P na parte aérea (principalmente o grãos), em relação ao sistema radicial, possibilitando maior massa de grãos. As cultivares eficientes em relação ao P foram Barbarasul e Ouro. Por outro lado, a FAEM 007, URS 21, Farroupilha, Afrodite e FAPA Slava são ineficientes. Essas duas últimas cultivares juntamente com a Taura não são responsivas a adubação fosfática.

Palavras-chave: 1. Características morfoagronômicas. 2. Sistema radicial. 3. Acúmulo de P no tecido.

ABSTRACT

Genotypes of white oats with higher nutritional efficiency than phosphorus (P) produce more grains, with less applied amount of phosphate fertilizers, favoring agricultural production in soils with low available nutrient level. The objective of this work was to verify if there is intraspecific variability in oats regarding the nutritional efficiency of P. Eight cultivars of white oats and three levels of availability of P: low (0.66 - 3.73 mg / dm³), medium (3.8 - 7.8 mg / dm³) and high (7.8 - 11.4 mg / dm³), of a Red Clay Oxisol. The experiment was carried out in an agricultural greenhouse in the year 2015. The experimental units were plastic vessels. At physiological maturation, the number of tillers and grains, the dry mass and the P concentration of the aerial part (stem, leaves, grains) and of the root, the mass of a thousand grains and of the grains, the volume, the area and the diameter of the root system. The cultivars with higher nutritional efficiency were distinguished by the higher efficiency of phosphorus use (EUP) and this was due to the accumulation of P in the aerial part (mainly the grains), in relation to the root system, allowing greater mass of grains. The cultivars that were efficient in relation to P were Barbarasul and Ouro. On the other hand, FAEM 007, URS 21, Farroupilha, Afrodite and FAPA Slava are inefficient. These two last cultivars together with Taura are not responsive to phosphate fertilization.

Key words: 1. Morphoagronomic characteristics. 2. Root system. 3. Phosphorus content in the tissue.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	<i>Fósforo do solo</i>	15
2.2	<i>Características morfoagronômicas e fitotécnicas</i>	16
2.3	<i>Fósforo na planta</i>	21
2.4	<i>Eficiência nutricional</i>	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	<i>Local e condições ambientais</i>	26
3.2	<i>Unidades experimentais e cultivares</i>	27
3.3	<i>Solo</i>	28
3.4	<i>Semeadura e tratamentos culturais</i>	30
3.5	<i>Avaliações</i>	32
3.6	<i>Delineamento e tratamentos</i>	36
3.7	<i>Análise estatística</i>	36
4	RESULTADOS	37
4.1	<i>Massa de grãos e da parte aérea, componentes de rendimento e características morfoagronômicas da parte aérea</i>	
4.2	<i>Sistema radicial</i>	40
4.3	<i>Fósforo na planta</i>	43
4.4	<i>Eficiência nutricional em relação ao fósforo</i>	48
5	DISCUSSÃO	53
5.1	<i>Massa de grãos e da parte aérea, componentes de rendimento e características morfoagronômicas da parte aérea</i>	53
5.2	<i>Sistema radicial</i>	56
5.3	<i>Fósforo em tecidos vegetais</i>	58
5.4	<i>Eficiência nutricional</i>	60
5.4.1	<i>Índices de eficiência nutricional</i>	63
5.4.2	<i>Diagrama de eficiência nutricional</i>	66
6	CONCLUSÃO	66
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS	68

APÊNDICES

76

Apêndice I (A) Folhas de aveia-branca (Cultivar Taura) sem (vaso do lado esquerdo) e (direito) com sintoma de deficiência de fósforo. (B) Folhas de aveia-branca (cultivar Taura) com sintoma de deficiência de fósforo. (C, D, E, F, G, H) Estatura da parte aérea das cultivares de aveia-branca, em Latossolo Vermelho com fósforo baixo, médio e alto do solo. 77

Apêndice II (I, J) Estatura da parte aérea das cultivares de aveia-branca, em Latossolo Vermelho com fósforo baixo, médio e alto do solo 79

Apêndice III Nível de fósforo (P) em partes da planta de cultivares de aveia-branca, em função dos níveis desse nutriente do solo. Passo Fundo 81

Apêndice IV Valores médios, mínimos e máximos dos intervalos de variação de fósforo do solo dos níveis baixo, médio e alto 83

1 INTRODUÇÃO

A aveia-branca (*Avena sativa L.*) ocupa o sétimo lugar em área de cultivo e em produção no mundo e representou 1,8% e 1,2% da área cultivada e da produção mundial de cereais, respectivamente, no período de 2002-2016 (FAO, 2017). Quando cultivada em solos com baixa disponibilidade de fósforo (P) disponível, na forma fitodisponível, isto é ortofosfato, esta cultura requer a correção da concentração deste nutriente. Por outro lado, a aplicação inadequada de fertilizantes fosfáticos pode ocasionar contaminação ambiental, comprometendo a qualidade de águas, principalmente as superfícies (PANTANO et al., 2016). Além disso, as fontes de P utilizadas no Brasil, são importadas, onerando o custo das culturas adubadas e limitando o tempo de vida útil das minas (CORDELL et al., 2009; RUARK; KELLING; GOOD, 2014; FAO, 2017). Nesse contexto, é importante pesquisar estratégias que minimizem a dependência externa de fontes de P e possam contribuir para prevenir eventuais riscos de impactos ambientais, prolongando o tempo de vida útil das reservas naturais. Entre outras estratégias, pode-se usar cultivares com maior eficiência nutricional em relação ao P. Para o uso desta estratégia, entretanto, é necessário caracterizar as cultivares, quanto a eficiência e a resposta à adubação com P.

Semente melhorada e novas variedades, desenvolvidas para as condições específicas de cada região produtora, têm sido responsáveis por notáveis incrementos na massa seca de grãos produzida (BRASIL, 2010). Observa-se um incremento de 1.700 kg/ha para 2.700 kg/ha massa de grãos média da lavoura de arroz, no Brasil, do início da década de 1980 a meados da década de 1990. Não se pode atribuir esse incremento exclusivamente a novas cultivares e híbridos desenvolvidos. Porém, seguramente, o papel das novas variedades foi fundamental no resultado final. Deste modo o produtor desfruta de um material mais produtivo a sua realidade e a empresa produtora tem seus direitos reservados quanto a proteção das cultivares desenvolvidas, tendo um benefício para ambos (BRASIL, 2010).

Eficiência nutricional de plantas é a capacidade de adquirir nutrientes do meio de crescimento e incorporá-los ou utilizá-los em um determinado produto, como massa da parte aérea ou de grãos (FAGERIA, 1998). Entre outros fatores, a aquisição do P do solo está relacionada com o potencial da planta em disponibilizar maior quantidade desse nutriente e aumentar o contato da raiz com o solo. Já a incorporação do P na biomassa está relacionada com a taxa de absorção do nutriente, resultante da expressão de genes que ativam o transporte de P na membrana celular. A utilização de P está relacionada com a capacidade da planta em transportar o nutriente absorvido para a parte colhida, como por exemplo, os grãos de cereais (SHENOY et al., 2006). Nesse contexto, a eficiência nutricional pode ser estimada por um conjunto de índices, em que os mais usuais são os índices de eficiência de uso, de aquisição, de translocação e de enraizamento (FAGERIA; BALIGAR, 1999; RODRIGUES et al., 2014; SANDÃNA, 2016; SILVA et al., 2016). Estudos com cultivares de batata, sorgo e feijão demonstram que existem diferenças quanto aos diversos índices de eficiência nutricional em relação ao P (ENP) (RODRIGUES et al., 2014; SANDÃNA, 2016; SILVA et al., 2016). Diante disso os índices mais importantes foram definidos como eficiência de aquisição e de uso de P, por que representam a aquisição do P do solo pelas células da raiz e a utilização deste elemento para a produção de massa de grãos.

As diferenças da eficiência nutricional de fósforo, ENP entre cultivares têm sido relacionadas a características morfoagronômicas do sistema radicial e da parte aérea. Cultivares com maior EUP e conseqüentemente maior ENP, em geral, tem maior volume e área, maior relação parte aérea/raiz, e maior quantidade de P na parte aérea (SILVA et al., 2015). Por outro lado, cultivares com maior ENP produzem mais massa seca da parte aérea (colmo, folha e grãos) por unidade de P absorvido do solo, incluindo grãos e afilhos (FAGERIA; MOREIRA; CASTRO, 2011; RODRIGUES et al., 2014; GOOD; KELLING; WARD, 2014; LAMBERS; MARATINOIA; RENTON, 2015; JEFFERY et al., 2016). Dessa forma, a estratégia de utilizar plantas com maior ENP é importante para explorar a produção em solos com limitação de P, minimizar impactos ambientais e a dependência de reservas deste nutriente, possibilitando renda líquida maior ao produtor e maior sustentabilidade na atividade agrícola. Contudo, entre outras espécies, as cultivares de aveia ainda não foram classificadas quanto à ENP, e, portanto, esta classificação se faz necessária.

Se a ENP aumenta com maior quantidade de massa de grãos e maior índice de resposta a níveis de P do solo, esses aumentam com maior produção de massa seca e acúmulo de P na parte aérea, então, cultivares com maior superfície de contato com o P disponível no solo e massa seca de grãos produzidas por unidade de P acumulado na parte aérea, tem maior ENP, dependendo do nível de P do solo.

Para testar esta hipótese, com o trabalho objetivou-se, de maneira geral, verificar se a ENP varia entre cultivares de aveia-branca. Esse objetivo geral foi subdividido nos seguintes objetivos específicos foram:

- Verificar se as características morfoagronômicas (massa de raiz, massa de parte aérea e grãos, número de afilhos, número de grãos, massa de mil grãos; área, diâmetro e volume do sistema radicial; relação colmo/folha e relação parte aérea/raiz variam em função dos níveis de P do solo (baixo, médio e alto) e entre as cultivares de aveia (URS 21, Afrodite, FAPA Slava, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farrouplilha e Taura).

- Avaliar se o acúmulo e a partição de P em partes da planta varia em função dos níveis de P do solo (baixo, médio e alto) e das cultivares de aveia (URS 21, Afrodite, FAPA Slava, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farrouplilha e Taura).

- Avaliar se a ENP, medida por diferentes coeficientes de eficiência (uso, translocação, aquisição e enraizamento) e pelo diagrama de eficiência nutricional proposto por CIAT (1978) e FOX (1978), varia entre as cultivares de aveia branca (URS 21, Afrodite, FAPA Slava, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farrouplilha e Taura).

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fósforo do solo

As plantas em sua maioria são cultivadas em solos intemperizados (MALAVOLTA, 2006; SBCS, 2007). O fósforo (P) em solos tropicais mais intemperizados, encontra-se adsorvido por oxidróxidos de ferro e alumínio. Essa retenção do P é considerável não-lábil, ou seja, pouco disponível para a planta ou na solução do solo. O P lábil está presente na matéria orgânica do solo, na argila e óxidos do solo, estando adsorvido através de uma ligação fraca denominada não específica. Essa ligação não específica pode liberar esse fósforo constantemente para a solução do solo. A quantidade de P na solução do solo é baixa, há necessidade de uma liberação constante de P não-lábil para a solução, a fim de atender a demanda da planta (SBCS, 2007; ROSSET et al., 2016).

Os ânions de vários constituintes do solo, formam uma forte retenção de P. Portanto, apenas uma proporção marginal no solo está presente na forma de íons de P na solução do solo. O P está presente no solo, sob a forma de fosfato inorgânico (Pi), em baixas concentrações disponíveis, tipicamente cerca de 1-10 mM na solução do solo. A baixa disponibilidade de Pi é resultado de sua capacidade para formar complexos insolúveis com cátions, especialmente alumínio e ferro sob condições ácidas e de cálcio em condições alcalinas (ROSSET et al., 2016). Isto é devido à mineralogia peculiar, geoquímica dos solos e o ambiente que favorece a retenção de íons de P em seus componentes sólidos, mantendo baixos níveis deste elemento na solução do solo (SBCS, 2007).

2.2 Características morfoagronômicas e fitotécnicas

A produção de massa seca de grãos de diferentes espécies submetidas a níveis restritivos de P do solo é maior em gramíneas, que leguminosas, variando na seguinte ordem: milho > arroz > feijão > soja (FAGERIA; MOREIRA; SANTOS, 2013). Numa mesma espécie vegetal pode ocorrer variabilidade quanto à eficiência nutricional. Linhagens de sorgo com eficiência nutricional ao P produziram 3.140 kg/ha de massa de grãos, cerca de 1,8 vezes mais que as não eficientes (1.720 kg/ha). Já a produção de massa de grãos de linhagens de sorgo responsivas (4.370 kg/ha) foi cerca de 1,9 vezes maior que a de cultivares não responsivas (2.530 kg/ha) (RODRIGUES et al., 2014).

Em estudo com sorgo observou-se que a massa de grãos, geralmente está correlacionado com o número de grãos na panícula, de maneira que existe uma compensação entre os componentes de rendimento na planta de sorgo, o que resulta na manutenção do rendimento dentro de certos limites. Isso pode ser demonstrando em condições adequadas do plantio a iniciação da panícula, mas por alguma razão a população final de plantas é baixa, a planta compensa com um aumento de perfilhamento e tamanho de panículas, o que faz com que haja um aumento no número de grãos por superfície plantada. Numa outra situação, quando ocorre estresse durante o início da formação da panícula, o perfilhamento e a diferenciação da panícula, acarretando menor número de sementes. As sementes, no entanto, vão compensar estas perdas aumentando o seu peso durante a fase da floração à maturação fisiológica (RODRIGUES et al., 2014).

Trabalhos com aveia-branca demonstraram que o número de grãos por panícula e o peso de mil grãos foram os principais componentes de rendimento que influenciaram a massa de grãos. Assim, o maior rendimento de grãos das cultivares UFRGS 16 e UPF 16 foi explicado pelo maior número de grãos por panícula dessas cultivares. Por outro lado, a cultivar UFRGS 19, com maior peso de grãos, teve menor rendimento que essas cultivares devido ao menor número de grãos (ALVES; KIST, 2010; FLYNN; SMITH, 2015). Esses autores constataram que a maior massa de grãos da aveia foi devido ao maior número de grãos, seja pelo maior tamanho de panícula e/ou pelo maior número de grãos por panícula ou maior número de panículas, proveniente de afilhos. Já a massa de mil

grãos, tem menor contribuição na massa de grãos, se comparado ao número de grãos (FONTANELI et al., 2012a).

A massa de mil grãos da cultura da aveia é pouco influenciada pela fertilidade do solo (KREMER et al., 2013) e as cultivares dessa espécie (FONTANELI et al., 2012a). Esses autores, em trabalho, realizado durante quatorze anos, com cultivares de aveia, concluíram que não há diferença entre cultivares quanto a massa de mil grãos, em nenhum dos anos. Por outro lado, em outro estudo com cultivares de aveia-branca, foi comprovado que a massa de mil grãos pode variar entre cultivares (FONTANELI et al., 2012b). Esses autores constataram diferença de 16%, quando compararam uma cultivar com menor valor dessa variável com outra com maior massa de mil grãos, e que o valor desse componente do rendimento pode variar de 32 a 45, dependendo da cultivar, características químicas do solo e clima. Nesse sentido, Fageria et al., (2010) constatou efeito da adubação com P e de genótipos de feijão nos componentes de rendimento de grãos dessa espécie. A massa seca da parte aérea, o número de vagens por planta, o peso de 1000 grãos e o número de sementes por vagem variaram da mesma forma que o rendimento de grãos, dependendo do nível de P e do genótipo.

O número de grãos de aveia-branca é um dos componentes da massa de grãos utilizado para avaliar essa última variável, em trabalhos que testam a densidade de semeadura (CECCON; FILHO; BICUDO, 2004), doses de nutrientes (SILVA et al., 2011) e diferentes cultivares (FONTANELI et al., 2012b), aliado a isso resultados em trigo e aveia-preta mostraram que o estresse devido ao baixo P do solo diminui o número total de sementes produzidas em relação ao tamanho da semente (NAKAGAWA, et al., 2009; RICHART et al., 2009). Conforme os autores, em cereais, a redução no número de sementes ocorre por que teve uma redução do número de espiguetas, do número de grãos por espiguetas e do número de grãos por panícula.

A massa da parte aérea (colmo + folhas) também varia com o nível de P do solo. Em trabalho com trigo, submetido a níveis deste nutriente, a massa da parte aérea variou na seguinte ordem: nível alto de P > nível médio > nível baixo (FAGERIA; BALIGAR, 1999). Estes autores observaram que a produção de massa seca da parte aérea no nível

alto foi cerca de 1,2 vezes maior que a produção no nível médio e 4 vezes maior que o nível baixo de P. Esse efeito também foi observado com cultivares de aveia-preta. A produção em solo adubado com P foi aproximadamente 32% maior, em relação ao solo não corrigido (SILVA et al., 2011).

A relação colmo/folha em linhagens e cultivares de aveia-branca variou entre genótipos, como observado por Kremer et al. (2013). Esses autores relatam variações de relação colmo/folha de 0 a 4,3, conforme o genótipo, no entanto, quando aumenta essa relação diminuiu a massa de grãos. A produção de massa de colmo, em nível alto de P do solo, em trigo, diminuiu, resultando em uma maior produção de folhas (LAMBERS et al., 2016). Isso está ligado diretamente a relação colmo/folha, que, quando aumenta, consequentemente, resulta em maior massa de grãos. O clima típico de cada ano de cultivo também influencia a relação colmo/folha de aveia. Em estudo de três anos com cinco cultivares de milho, essa relação foi de 4,3, em um ano, e, em ano seguinte, foi de 2,82, variando devido a fatores ambientais e, principalmente, ao clima (GONDIM et al., 2014).

Plantas de avezém e aveia, submetidas a restritivo de P do solo, geralmente, priorizam a produção de somente uma planta e a produção de massa de grãos, restringindo a produção de afilhos (MASCHADI et al., 2014). Isso está relacionado com a função do P na planta, em disponibilizar energia e promover o poder redutor das células (TAIZ; ZEIGER, 2017). Dessa forma, solos com menor disponibilidade de P reduzem o desenvolvimento da planta e o número de afilhos diminui (KERBAUY, 2008). Nesse sentido, em trabalho com aveia-preta, adubada com doses de P, foi constatado o aumento do número de afilhos por planta, nas maiores doses de P (PRADO; ROMUALDO; VALE, 2006). Esses autores relatam acréscimo do número de afilhos até a concentração de 20 mg P/dm³. Já plantas de trigo e de arroz, cultivadas em solo com baixo nível de P, não emitiram afilhos (FAGERIA; BALIGAR, 1997, 1999). Por outro lado, a diminuição do número de afilhos pode não resultar em menor massa de grãos, pois a planta de aveia-branca pode compensar a diminuição dos afilhos, aumentando a massa de mil grãos. Outro fator que pode influenciar a massa de grãos é a produção de afilhos improdutivos (SILVA et al., 2011).

não produziram afilhos, mas, em solo sem restrição desse nutriente, o número de afilhos foi crescente com o aumento da disponibilidade de P do solo (WANG; SHEN; LIAO, 2010; FAGERIA et al., 2014).

A disponibilidade de P do solo também pode influenciar a produção de massa seca de raiz de cereais, possibilitando maior área de contato com o P do solo e maior massa de grãos (WOLSCHICK et al., 2016). Em trigo e arroz, esse aumento foi de, aproximadamente, 1,5 vezes, quando o nível do nutriente variou de baixo para o alto, aumentando a massa de grãos (FAGERIA et al., 2010). Como em outras gramíneas e leguminosas, a aplicação de P em aveia-preta pode estimular o crescimento radicial, cerca de 18 % mais que a aplicação de nitrogênio (PRADO; ROMUALDO; VALE, 2006). Desta maneira, a produção de massa seca de raiz de aveia-branca, em solo com elevada disponibilidade de P, foi 33% maior, em relação à produção obtida em P baixo, possibilitando maior incorporação de P nos tecidos celulares, maior EUP e conseqüentemente, maior massa de grãos (SILVA et al., 2011). Esse aumento do sistema radicial quando aumentou a disponibilidade de P no solo, também foi confirmado em trabalho com leguminosas (FAGERIA et al., 2014). O efeito de níveis de P na produção de massa seca do sistema radicial também foi observado em 24 genótipos de feijoeiro, cultivados em um Argissolo (HERVÉ et al., 2014). Os autores observaram que o maior nível de P aumentou a massa de raiz principal, basal e lateral; a massa de nódulos; a área e o comprimento de raízes, tanto no início da formação, como no período de enchimento das vagens. Os autores reforçam a importância da seleção de cultivares com maior crescimento da raiz, como uma estratégia para aumentar a absorção de P e a produção de grãos. Contudo, o efeito do nível de P do solo no sistema radicial e na massa de grãos ainda deve ser avaliado pela relação parte aérea/raiz. Essa relação foi avaliada em genótipos de milho que mostrou aumento dessa característica com o alto nível de P, comparado ao nível limitante desse nutriente (NETO et al., 2010). Isso também foi observado em *Brachiaria decumbens* (SILVA et al., 2011), trigo e sorgo (RODRIGUES et al., 2014; FAGERIA et al., 2014). Nessas últimas culturas, a maior relação parte aérea/raiz possibilitou maior ENP. Dessa maneira, quando avaliada em aveia-preta, cultivada em diferentes disponibilidades de P do solo, essa variável não foi afetada por

esse nutriente.

As diferenças na aquisição de P do solo têm sido relacionadas com o desenvolvimento radicial (alongamento e absorção), translocação e demanda por unidade de nutriente absorvido. Sistemas de raízes de plantas podem adaptar sua arquitetura, em resposta às condições ambientais prevalentes. Em baixo de P do solo, gramíneas tiveram maior área a fim melhorar a área de contato das raízes com o P disponível no solo (SILVA et al., 2011; LAMBERS, 2015). As gramíneas possuem um sistema radicial bem desenvolvido, que responde melhor em produção de grãos se comparado à leguminosas, quanto submetidas a restrição de P (LAMBERS; TESTE, 2013). O aumento de área e de volume de raízes, sem um acréscimo proporcional na biomassa da parte aérea, permite maior aquisição de nutrientes imóveis do solo, tais como o P. Algumas espécies de gramíneas como o azévelem têm essa capacidade citada (HERVÉ et al., 2014). Assim, plantas com maior relação parte raiz/parte aérea são, em geral, mais eficientes em absorver P (MANSCHADI et al., 2014). Isso indica a importância do sistema radicular para a ENP (WANG; SHEN; LIAO, 2010; TRINDADE et al., 2014).

O comprimento radicular de plantas adubadas com P é afetado com o aumento da disponibilidade desse nutriente, ocorrendo modificação de raízes secundárias. O comprimento dessas raízes diminuem com o aumento do fornecimento de P (SCHROEDER; JANOS, 2005; WANG, SHEN; LIAO, 2010), o que está associado com a diminuição do diâmetro de raiz, especialmente nas regiões apicais do sistema radicular (SCHROEDER; JANOS, 2005). Por outro lado, estudos demonstram o inverso, em que, o P do solo estimula o crescimento radicial de gramíneas e leguminosas (FAGERIA; BALIGAR, 1997, 1999; FAGERIA et al., 2014).

Modificações no crescimento e arquitetura de raízes têm sido apontadas como uma importante resposta à deficiência de P no meio. Estudo realizado com dez espécies de gramíneas e onze de leguminosas, verificou que o grupo das gramíneas foi o mais tolerante a baixo P do solo que o de leguminosas. Gramíneas tiveram maior comprimento de sistema radicular, raízes mais finas e pelos radiculares mais longos, além de dividir o P entre raiz e parte aérea na mesma proporção relativa, independentemente do nível deste elemento no

solo (WANG; SHEN; LIAO, 2010, FAGERIA et al., 2014). Segundo os primeiros autores, a maior eficiência das gramíneas poderia ser explicada por diferenças na morfologia do sistema radicular, na absorção de P por unidade de raiz e na concentração desse nutriente no sistema radicular. Estudos obtiveram correlação positiva entre parâmetros de arquitetura de raiz e ENP, em feijão e arroz (WANG; SHEN; LIAO, 2010; SILVA et al., 2016). Segundo esse último autor, experimentos conduzidos em vasos com areia, verificaram que os genótipos mais eficientes de arroz (WANG; SHEN; LIAO, 2010) e de feijão (FAGERIA; MOREIRA; SANTOS, 2013) foram os com sistema radicular mais superficial, indicados por maiores ângulos horizontais de inserção de raízes e maior distribuição de raízes nas camadas mais superficiais do meio de crescimento. Em cevada, variações genótípicas em pelos radiculares e, conseqüentemente, maior volume do sistema radicular aumentou a absorção de P do solo e possibilitou maior massa de grãos em solos com P baixo (HALING et al., 2016).

2.3 Fósforo na planta

O P é ubíquo no metabolismo das plantas. Não passa por trocas de valência em seus múltiplos papéis na bioquímica de vegetais, permanecendo pentavalente, como fosfato (PO_4^{3-}) ou pirofosfato ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$). Participa de vários processos metabólicos em plantas, como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, estabilidade de membrana, fixação de N_2 , metabolismo de carboidratos, reações redox, ativação e desativação de enzimas (EPSTEIN; BLOON, 2006; SBCS, 2007). Entretanto, esse nutriente, em comparação com os outros macronutrientes, é menos móvel e disponível para as plantas na maioria das condições de solo.

O nível de P do solo pode afetar o acúmulo desse nutriente nos tecidos das plantas. A maior disponibilidade desse nutriente possibilita maior capacidade da planta em expressar o potencial produtivo, além de possibilitar maior acúmulo de P na parte aérea e no grãos (EPSTEIN; BLOOM, 2006, FAGERIA; MOREIRA; CASTRO, 2011). Esse efeito é crescente, até que a planta atinja o máximo rendimento relativo. A partir daí

a planta não responde em produção de massa seca, mas pode acumular mais P em tecidos celulares, o que é denominado consumo de luxo (SBCS, 2007).

Uma das explicações para a menor produção de grãos de plantas cultivadas em solos deficientes em P, é que essas retêm maior nível desse nutriente em raízes, diminuindo a translocação para os sítios fotossinteticamente ativo nas folhas (TAIZ; ZEIGER, 2017). Isso indica a importância de partição desse nutriente na planta, para entender o efeito na produção de grãos a ENP dos genótipos. Para alta ENP, genótipos de cereais devem ter maior absorção desse nutriente e também maior translocação e incorporação na massa seca da parte aérea, transferindo o P para o grãos (MANSCHADI et al., 2014). Os grãos ser o meio de perpetuação das espécies de cereais tem a elevadas quantidades de P no endosperma suficientes para possibilitar os processos que gerem energia para suprir a necessidade do embrião no momento da germinação (KERBAUY, 2008; GUIMARÃES et al., 2016). Assim, plantas com maiores concentrações de P em tecidos (raiz, colmo e folha) toleraram melhor solos com baixa disponibilidade desse nutriente, pois a quantidade de P para a "manutenção" é menor (BALMFORD; GREEN; SHARLEMANN, 2005; DOBERMAN, 2007). Segundo Hammond, Broadly e White (2004) e Lambers, Maratinoia e Renton (2015) o acúmulo de P no colmo e na folha pode ser utilizado a fim de selecionar genótipos com maior ENP, quando esses são submetidos a restrição desse nutriente. O nível de nutrientes na planta que possibilita a expressão do potencial produtivo varia com a espécie, entre outros fatores (WENDLING et al., 2016). As faixas de nível de P em folha e grãos de aveia-branca já foram relatadas na literatura. Os valores médios de P em folhas variam de 2,31 a 4,02 g/kg, enquanto que em grãos variam de 3,5 a 7,5 g/kg (NAKAGAWA; ROSOLEM, 2005; NAKAGAWA et al., 2009; CBPA, 2014; BONA, et al., 2016). Estudo em solo com baixo P, realizado com plantas de cobertura de solo, inclusive aveia-preta demonstrou acúmulo próximo de 2 mg / planta de P tanto no colmo quanto na folha e aproximadamente 1 mg/planta de P no sistema radicial (WOLSCHICK et al., 2016). Por outro lado, trabalho realizado com aveia-preta em solo com P corrigido a quantidades superiores a necessidade da cultura, demonstrou acúmulo de P no sistema radicial de 1,62 mg/planta e nas folhas da planta de 3,41 mg/planta de P (WENDLING et al., 2016). O acúmulo de P na parte aérea de aveia-preta

também é influenciado pela adubação desse nutriente. O acúmulo de P na parte aérea de aveia-preta foi de 1,75 mg/planta, contra 8,18 mg/planta de P, em solo adubado (MELO et al., 2011).

2.4 Eficiência nutricional

A eficiência nutricional ao P (ENP) pode expressar a relação entre a produção obtida e o fertilizante fosfático aplicado ou nível de P do solo (FAGERIA, 1998). Desse modo, a ENP tem sido definida como a principal maneira como as plantas adquirem, transportam, armazenam e usam o nutriente, a fim de produzir biomassa (raiz, parte aérea e grãos).

A ENP é baixa, comparada a outros nutrientes. Esse fato está relacionado à menor disponibilidade desse nutriente no solo e as características genéticas de cada espécie e cultivar, em adquirir o P (DOBERMANN et al., 2007). Os principais índices de eficiência nutricional, utilizados para avaliar a ENP são a eficiência de aquisição e de uso. A eficiência de aquisição é influenciada por aspectos morfológicos do sistema radicial (eficiência de enraizamento, EER) e parâmetros cinéticos de absorção (eficiência de absorção, EAP). A eficiência de uso depende de translocação (eficiência de translocação, ETP) e da conversão em biomassa (eficiência de uso do nutriente, EUP) (WANG; SHEN; LIAO, 2010; TRINDADE et al., 2014; LAMBERS et al., 2016). Assim, a eficiência nutricional é resultante de um conjunto de índices simples, frequentemente utilizados para estimar a eficiência da cultivar e do fertilizante aplicado.

A eficiência nutricional pode ser expressa por índices agronômicos, a fim de avaliar, a curto prazo, as cultivares (RAKSHIT et al., 2015). Existem diversos índices agronômicos que podem ser utilizados para estimar a eficiência da planta. Os mais usuais são a eficiência de uso de P (EUP) (SIDDIQI; GLASS, 1981), eficiência de translocação de P (ETP) (LI et al., 1991), eficiência de aquisição de P (EAP) (SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994) e eficiência de enraizamento (EEP) (SIDDIQI; GLASS, 1981). Para a produção de grãos, destacam-se a eficiência de uso de P (EUP), definida como a razão da

quantidade de massa de grãos produzido por unidade de P absorvido; e a eficiência de aquisição de P (EAP), definida como a quantidade de nutriente absorvido pela planta dividido pela quantidade de P suprido a cultura (AMARAL et al., 2012). A ETP estima a capacidade de translocação do P da raiz que foi utilizado no grãos, e, conseqüentemente, possibilita maior massa dessa parte da planta. Esses índices remetem a capacidade da planta em entrar em contato com o P presente no solo, em absorver e incorporar o elemento nas células da raiz e a capacidade de translocação do P para ser utilizado na formação do grãos (FAGERIA, MOREIRA, SANTOS, 2013; MANSCHADI, 2014; LAMBERS et al., 2016; MARCANTE, 2016).

Entre outros mecanismos, a eficiência de aquisição de P (EAP) das cultivares varia com a eficiência de enraizamento (EEP). Essa resulta de diferenças entre as plantas quanto a modificação das características morfológicas do sistema radicular, aumento da eficiência de mecanismos fisiológicos de absorção, modificações químicas na interface solo-raiz, mudanças bioquímicas sob deficiência e associação com micorrizas (FAGERIA, 1998; RAKSHIT et al., 2015). Estudos demonstram que a ENP está diretamente relacionada à EAP. Em arroz cultivado em solo com P limitante, a EUP foi negligente em linhagens derivadas de retrocruzamento (CHIN et al., 2011).

Há diversos obtentores de cultivares de aveia no Brasil e no mundo. Esses produzem uma cultivar, a partir de materiais selecionados entre as linhagens. Assim, a característica genética de cada linha de obtenção tende a ser distinta em muitas características morfoagronômicas e genéticas. Essas podem influenciar a aquisição, o transporte e a utilização do P e, conseqüentemente, aumentar a produção de massa de grãos e a resposta a níveis de P, afetando a ENP. Contudo, esse aspecto ainda não foi estudado em aveia, embora espera-se que existam diferenças entre as cultivares provenientes de diversos obtentores. Por outro lado, alguns trabalhos mostram diferenças na ENP entre as cultivares de outros cereais e de leguminosas (FAGERIA; MOREIRA; SANTOS, 2013; GONDIM et al., 2014; MANSCHANDI et al., 2014; MOREIRA; MORAIS; FAGERIA, 2015; TRINDADE et al., 2014). Os trabalhos com gramíneas mostram que a maioria das plantas com maior EUP produzem mais massa de parte aérea e de grãos, acumulando maior quantidade de P na parte aérea, dependendo ou não do

sistema radicial (FAGERIA; BALIGAR, 1997, 1999; FAGERIA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2014; GOOD; KELLING; WARD, 2014; SILVA et al., 2016; JEFFERY et al., 2016).

Plantas com deficiência nutricional tentam manter o maior nível na parte aérea, em relação aos demais órgãos (GONDIM et al., 2014). Dessa maneira tem maior EUP, devido a maior translocação do P para essas partes da planta. A EUP de linhagens de sorgo e de milho foi, aproximadamente, quatro vezes maior que a média geral das linhagens, em alto de P do solo, comparado com o baixo (NETO et al., 2010; GONDIM et al., 2014). Esses autores, relataram que a capacidade de acúmulo de P pelas plantas de milho pode ser utilizada na seleção indireta de linhagens com elevada eficiência de utilização do nutriente.

Por outro lado, em condições de baixa disponibilidade de P, as linhagens de sorgo não diferiram quanto a EAP e EUP, indicando que têm as mesmas estratégias de aquisição do nutriente. Entre essas estratégias, as mais comuns foram o desenvolvimento de maior quantidade de raízes basais e axiais com grande número de pelos radiculares, e o crescimento das raízes em ângulos diferentes como foi observado em trigo (RAMAEKERS et al., 2010; LYNCH, 2011). Já as características morfológicas do sistema radicial e a translocação de P de cultivares de trigo, arroz, feijão e milho, classificadas como as melhores quanto a ENP, ou seja mais eficientes e responsivas a esse nutriente, foram semelhantes, possibilitando maior capacidade de contato com o P do solo (área e/ou volume) e maior nível P em parte aérea (colmo, folha e grãos) (FAGERIA; BALIGAR, 1997, 1999; FAGERIA; MOREIRA; SANTOS, 2013; MANSCHADI et al., 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e condições ambientais

O experimento foi conduzido na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. A altitude é de 667 m e o clima, conforme classificação de Köppen e Thornthwaite, é do tipo fundamental úmido e variedade subtropical (KUINCHTNER; BURIAL, 2001). O experimento foi conduzido em estufa agrícola, coberta com filme plástico e lateral com tela (Figura 01), entre junho a outubro de 2015. As condições de temperatura, radiação solar umidade do ar e velocidade do vento constam na Figura 1.

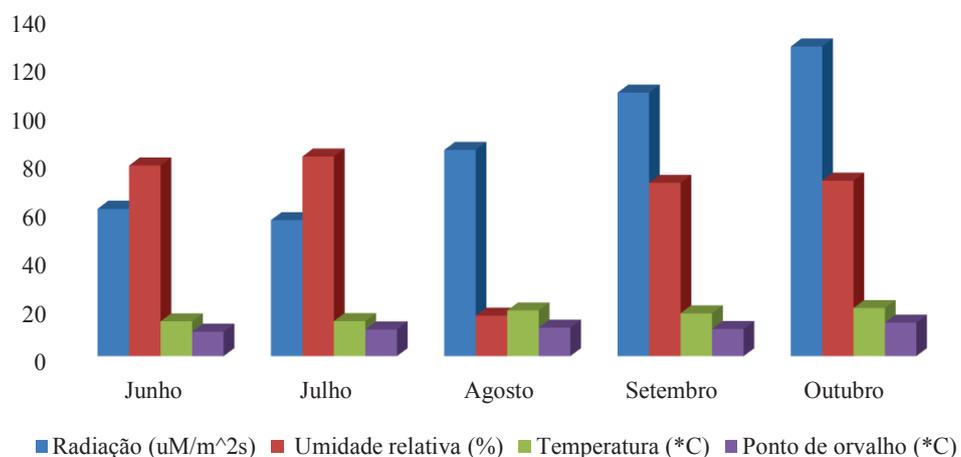


Figura 1- Condições climáticas do local do experimento. Passo Fundo, RS, 2015.



Figura 1 – Estufa agrícola utilizada no experimento. Passo fundo, RS, 2015.

3.2 Unidades experimentais e cultivares

As unidades experimentais foram vasos de plásticos retangulares (8 L), contendo 7,8 kg de solo seco e peneirado (malha de 6 mm de abertura), os quais foram trocados de posição na estufa (rodízio), para que a radiação incidente fosse semelhante entre elas (Figura 02).

As cultivares utilizadas foram escolhidas por serem provenientes de diferentes obtentores brasileiros. As cultivares são provenientes de programa de melhoramento de cinco instituições: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de Passo Fundo, Universidade Federal de Pelotas, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária e Instituto agrônomo do Paraná, possibilitando maior discrepância genética entre elas. As sementes foram obtidas do banco de germoplasma do programa de melhoramento da Universidade de Passo Fundo.

As cultivares de aveia-branca utilizadas foram UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha,

IPR Afrodite, URS Fapa Slava, Barbarasul, FAEM 007, URS Taura e URS 21.

A cultivar Ouro foi proveniente do cruzamento das cultivares UPF 16 X UPF 18, que resultou na linhagem UPF 99H10-1, lançada como cultivar denominada Ouro no ano de 2011, pela UPF. Essa cultivar tem ciclo médio-tardio, com estatura de planta alta, folha bandeira ereta e média frequência de aristas. A panícula tem forma equilateral, com grãos de cor amarela e hábito de crescimento ereto (CBPA, 2014).

A cultivar UPFPS Farroupilha é proveniente da linhagem UPF 99H34-5-5, criada pela universidade de Passo Fundo no ano de 2012, com a genealogia da UPF 18 X OR 2. Essa cultivar tem ciclo médio, estatura de planta alta, posição de folha bandeira intermediária, baixa quantidade de aristas, panícula da forma equilateral, grão com cor branca e hábito de crescimento ereto (CBPA, 2014).

A cultivar IPR Afrodite é proveniente do cruzamento das linhagens CFT 2 X ER 88144-1, que originou a linhagem AL 0548, desenvolvida pela IAPAR e lançada no ano de 2012. Essa cultivar tem ciclo médio, com estatura de planta média e posição da folha bandeira intermediária. Tem média frequência de aristas os grãos, além de formar uma panícula equilateral, com grãos de cor amarela e hábito de crescimento intermediário (CBPA, 2014).

A cultivar URS Fapa Slava foi criada pela FAPA e UFRGS no ano de 2010, com a denominação de linhagem URSFAPA 024008-1-5-4 a partir da seleção individual de plantas. Tem ciclo tardio e estatura de planta intermediária, com baixa frequência de aristas e panícula de forma unilateral. Os grãos tem cor clara e hábito de crescimento semivertical (CBPA, 2014).

A cultivar de aveia-branca Barbrasul foi resultado do cruzamento da genealogia da UPF 18 X CTC 5 que resultou na formação da linhagem CGF 03-008, desenvolvida pela Universidade Federal de Pelotas, em 2008. Essa cultivar tem ciclo precoce e estatura de planta baixa, com posição da folha bandeira intermediária. Não possui aristas e a panícula tem forma unilateral, com grão de coloração amarela. Seu hábito de crescimento

é semiereto (CBPA, 2014).

A cultivar URS Taura foi desenvolvida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no ano de 2009, a partir das linhagens UFRGS 970216-2 X UFRGS 970461 que formaram a linhagem UFRGS 046054-2. Essa cultivar tem ciclo precoce, com baixa estatura de plantas. O posicionamento da folha bandeira é ereta, sem a frequência de aristas. A forma da panícula é equilateral, com grãos de coloração amarela e crescimento ereto (CBPA, 2014).

A cultivar URS 21 foi desenvolvida a partir do cruzamento da geneologia da UFRGS 10 X CTC 94 B 99 pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no ano de 2000. A linhagem desenvolvida para a formação dessa cultivar foi a UFRGS 952570-4. A URS 21 tem ciclo precoce, com estatura de planta alta e posição da folha bandeira intermediária. Possui baixa frequência de aristas, com panícula na forma equilateral e grão com cor amarela. Possui hábito de crescimento semiereto (CBPA, 2014).

3.3 Solo

O solo utilizado foi caracterizado originalmente como Latossolo Vermelho Distrófico Alumínico, com níveis de P que variavam de baixo a alto, de modo que esse solo foi coletado em uma mesma área. Isso viabilizou os tratamentos, pois não foi necessário acrescentar fertilizantes fosfáticos, nem exaurir esse nutriente. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, em lavoura de grãos manejada com o sistema plantio direto, em Tapejara-RS (S 28°03'799'' e W51°57'486''). Os níveis de P testados foram obtidos amostrando-se o solo na linha de adubação da cultura da soja (nível alto) e nas entrelinhas (nível baixo). As concentrações de P corresponderam a: nível baixo (0,7 a 3,7 mg/kg), nível médio (3,8 a 7,8 mg/kg) e nível alto (7,8 a 11,4 mg/kg). As análises de P das amostras de solo foram realizadas com o método Mehlich I, conforme descrito em Tedesco et al. (1995), exceto que a alíquota utilizada foi pesada e não medida por volume. O nível médio foi obtido misturando o solo coletado nestes dois locais de amostragem.

Outras características que favoreceram o uso deste solo, foram os níveis adequados de acidez e de outros nutrientes (GATIBONI; SILVA; ANGHINONI, 2016), dispensando a correção química do solo. Os níveis de P foram determinados de acordo com o rendimento relativo (RR) da cultura da aveia, de acordo com o seguinte critério: nível baixo de P, RR de 40 a 75 %; o nível médio, RR de 75 a 90 % e nível alto, RR de 90 a 100%.

A determinação dos quantidades de argila, silte e areia foram realizadas pelo método do hidrômetro (KLEIN, 2012) e os valores obtidos foram 72%, 24% e 4%, respectivamente. A quantidade de água acrescentada em cada vaso foi calculada de acordo com a capacidade de retenção de água de cada vaso. Para repor a água perdida por evapotranspiração, foi mantida a umidade do solo a 70 % do valor desta capacidade.

Os atributos químicos do solo, analisado antes do experimento, foram determinados conforme Tedesco et al. (1995) e corresponderam aos seguintes valores: pH em água, 5,8; índice SMP, 6,0; potássio extraível, 219 mg/dm³; matéria orgânica oxidável, 4,2 %; alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, 0,0, 6,4 e 2,7 cmol/dm³, respectivamente; hidrogênio mais alumínio (acidez potencial), 4,4 cmol/dm³; capacidade de troca de cátions a pH 7,0, 14 cmol/dm³; saturação por bases, 69%; enxofre, 16 mg/dm³; boro, 0,7 mg/dm³; manganês, 71,4 mg/dm³; zinco, 3,68 mg/dm³ e cobre, 6,57 mg/dm³.

3.4 Semeadura e tratos culturais

Para os cálculos da adubação nitrogenada, a expectativa de rendimento de grãos da aveia branca foi de 4,0 t/ha. O nitrogênio foi aplicado em cobertura, nos estádios de afilamento e de alongamento, conforme recomendação da pesquisa regional, em todos os tratamentos e na forma de ureia (46% de N). A implantação da cultura de aveia e os manejos culturais foram de acordo com as indicações técnicas para essa cultura (BONA et al., 2016). Foram semeadas 33 sementes/unidade experimental. Após a emergência,

realizou-se o desbaste, para que a densidade de plantas fosse de 11 por unidade experimental (Figura 3), correspondendo a 300 plantas/m².

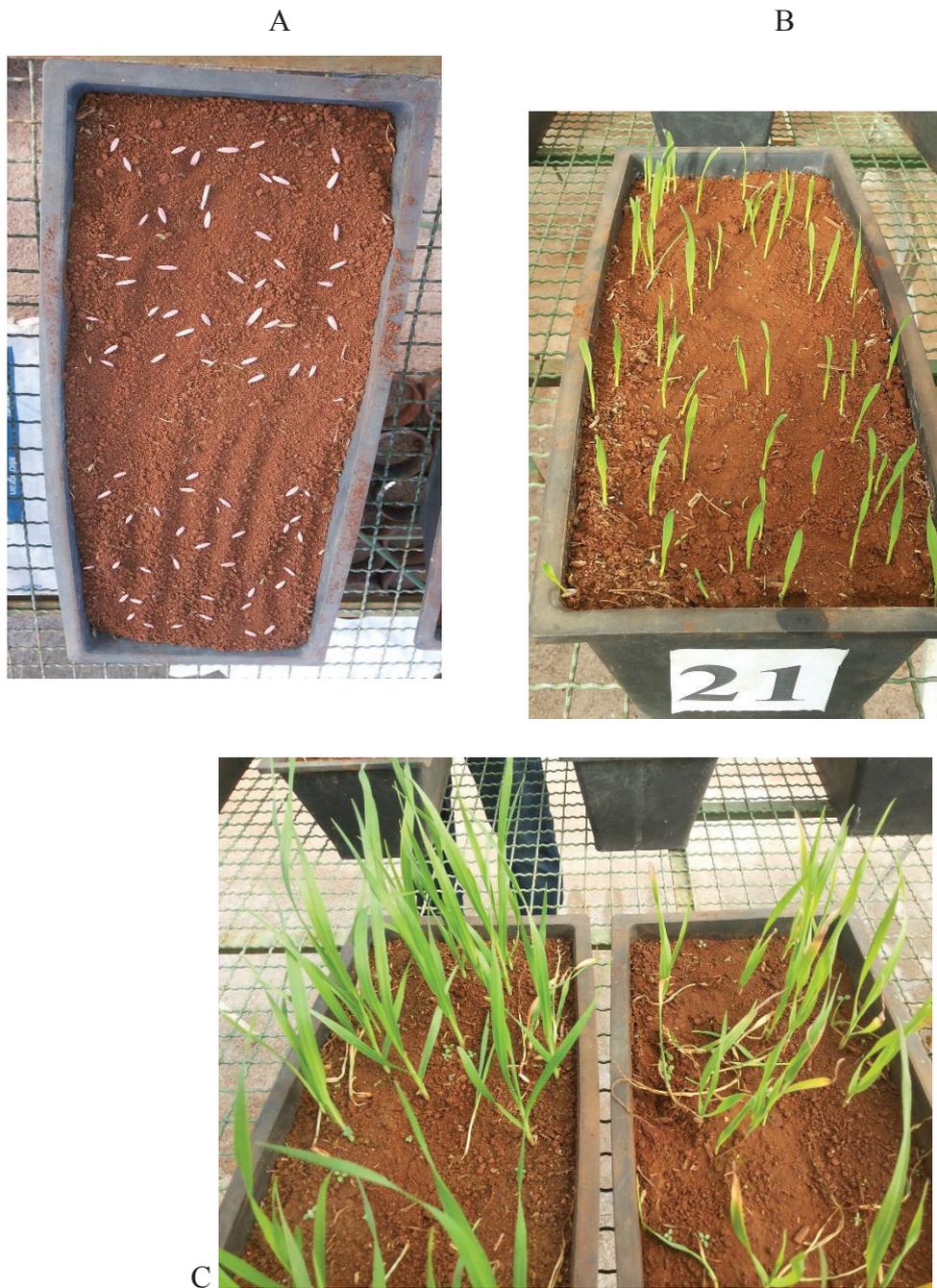


Figura 3 – Semeadura de duas unidades experimentais (A), germinação de duas unidades experimentais (B), população de plantas em duas unidades experimentais, após desbaste (C). Passo Fundo, RS, 2015.

As sementes foram tratadas com fungicida tiram (300 mL kg/100 de semente). A semeadura foi em nove de junho de 2015. A profundidade de semeadura utilizada foi de três centímetros, e realizada de forma manual. O controle de plantas daninhas nos vasos foi realizado manualmente, com a retirada das plantas indesejáveis, logo após a emergência. As pragas foram controladas preventivamente, com atenção especial aos afídeos, controlados em populações baixas, a fim de minimizar a infecção das plantas pelo vírus do nanismo amarelo da cevada (VNAC), utilizando o inseticida imidacloprido. O controle de doenças fúngicas da parte aérea foi realizado com o fungicida azoxistrobina + ciproconazol (0,3 L de princípio ativo/ha) mais óleo mineral indicado pelo fabricante, realizando aplicações preventivamente (LÂNGARO et al., 2014).

3.5 Avaliações

Foram utilizadas sete plantas/vaso, para as avaliações. Na maturação fisiológica, foi quantificado o número de afilhos e a massa seca (raízes, colmos folhas e grãos).

As raízes foram retiradas do solo com auxílio de água corrente. Foi utilizado um recipiente com malha de peneira de 0,5 mm, para saída da água e retenção das raízes da planta. Após foram mergulhadas em detergente, em seguida lavadas em água corrente e água destilada. A área superficial específica, volume e densidade do sistema radicial foram determinados com o programa Winrhizo[®] (Figura 04).

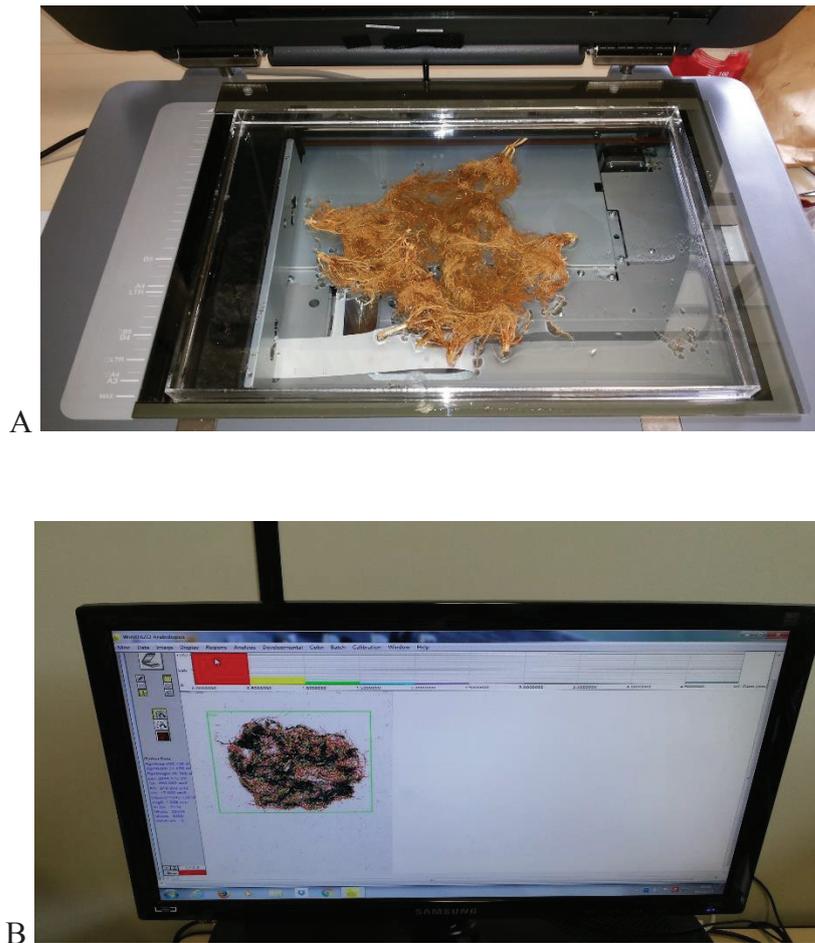


Figura 4 – Raízes de uma unidade experimental submetidas a leitura no equipamento (A). Resultados expressos da leitura de raízes (B). Passo Fundo, RS, 2015.

As raízes e a parte aérea (colmos, folhas e grãos) foram secadas em estufa a 60 °C, até obter massa constante, com circulação de ar forçado por 48 horas. Após, foi determinado, com balança de precisão marca Marte® (modelo AS 2000 C), as massa de raiz, da parte aérea (colmo + folhas), do grãos e a massa de mil grãos. Foi determinado o número de grãos de cada planta e a massa de grãos produzida foi ajustada para o teor de água a 13%, para determinar a massa de grãos de cada unidade experimental.

Após a pesagem, as amostras foram moídas e homogêneas em moinho tipo circular, para determinação dos quantidades e das quantidades acumuladas de P, conforme Tedesco et al. (1995). Para a determinação do conteúdo de P na raiz, parte aérea (colmo + folhas) e grãos, as amostras foram submetidas à digestão ácida, em sistema

aberto, com bloco digestor. Foi utilizado 0,2 g de tecido com 0,7 g de mistura de digestão (100 g de Na₂SO₄, 10g de CuSO₄.5H₂O) em ácido sulfúrico (H₂SO₄) com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em bloco a 350 °C. A determinação de P nos extratos dos tecidos das partes das plantas foi realizada por colorimetria, conforme Tedesco et al. (1995). As análises foram realizadas com duplicata de cada amostra.

Com os valores dessas variáveis, foram definidas as quantidades de P e a massa nas partes da planta (raízes, parte aérea e grãos) e em seguida calculados os índices agronômicos de ENP, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1- Equações utilizadas para cálculo dos índices de eficiência nutricional.

Índice nutricional	Equação	Referência
Eficiência de uso de fósforo	$EUP = (MS^2) / mg Pr^2 + mg Ppa^3 + mg Pg^{33}$	Siddiqi e Glass (1981)
Eficiência translocação de fósforo	$ETP = mg P pa / mg P total$	Li et al. (1991)
Eficiência aquisição de fósforo	$EAP = mg P total / ms raiz$	Swiader; Chya; Freiji (1994)
Eficiência enraizamento	$EEP = (massa seca raiz)^2 / (mg Ppa + mg Pg)$	Siddiqi e Glass (1981)

MS¹ rendimento de grãos, mg Pr² miligrama de fósforo da raiz, mg Ppa³ miligrama de fósforo da parte aérea, mg Pg³³ miligrama de fósforo do grãos.

Para determinar a resposta de massa de grãos das cultivares de aveia ao incremento dos níveis de P do solo, foi utilizada a equação abaixo, proposta por CIAT (1978):

$$RNP = (MSG_{P2} - MSG_{P1}) / (P_2 - P_1)$$

em que,

RNP: resposta a níveis de P do solo

MSG: massa de grãos obtida nos níveis alto (MSG_{P2}) e baixo de P do solo (MSG_{P1});

P₁: baixo de P do solo (2,2 mg/kg);

P₂: alto de P do solo (9,6 mg/kg).

Para o cálculo da equação acima, foi utilizado o nível médio de P do solo dos níveis baixo (2,2 mg P/kg) e alto (9,6 mg P/kg). Essas médias foram obtidas com os valores mínimos e máximos dos intervalos de variação de P do solo desses níveis, que variaram de 0,7 a 3,7 mg P/kg (nível baixo) e de 7,8 a 11,4 mg P/kg (nível alto) (Apêndice III). Os valores dessas médias também foram utilizados para o cálculo da resposta a adubação.

Com os valores do coeficiente de resposta a níveis de P do solo e a massa de grãos produzidas no baixo P do solo foi elaborado o diagrama de eficiência nutricional, plotando os valores do coeficiente de resposta a níveis de P do solo no eixo y (Abcissa) e os valores da produção média de matéria seca do grãos no nível de P baixo do solo das cultivares no eixo x (Ordenada) (CIAT, 1978; FOX, 1978). A classificação das cultivares mais ENP foi definida com base neste diagrama. O ponto de origem do eixo horizontal foi a média de massa seca do grãos produzida por todas as cultivares no nível baixo de P do solo, enquanto o ponto de origem do eixo vertical foi o resultado do coeficiente de resposta a níveis de P do solo. O diagrama foi dividido em quatro quadrantes. No primeiro quadrante foram representadas as cultivares eficientes e responsivas ao P; no segundo as eficientes e não-responsivas a este nutriente; no terceiro os não-eficientes e não-responsivos; e no quarto os não-eficientes e responsivos.

3.6 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi completamente casualizado, com quatro repetições. O arranjo de tratamentos foi bifatorial (8 x 3). Foram utilizadas oito cultivares de aveia branca e três níveis de P do solo.

As cultivares de aveia-branca utilizadas foram UPFA Ouro, UPFPS Farroupilha, IPR Afrodite, URS Fapa Slava, Barbarasul, FAEM 007, URS Taura e URS 21. No trabalho essas cultivares serão denominadas de URS 21, Afrodite, FAPA Slava, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farroupilha e Taura. Os níveis de P do solo foram: baixo, médio e alto.

3.7 Análise estatística

Os resultados morfoagronômicos e dos índices de ENP, foram submetidos a homogeneidade da variância e analisados utilizando a análise de variância, em modelo bifatorial (cultivar X níveis de P). As médias dos resultados foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), através do software ASSISTAT.

4 RESULTADOS

A interação entre as cultivares e os níveis de P influenciou ($p < 0,05$) todas as variáveis avaliadas, exceto a proporção de colmo. Ela será relatada a seguir, em subitens específicos.

4.1 Massa de grãos e da parte aérea, componentes de rendimento e características morfoagronômicas de parte aérea

A massa de grãos e da parte aérea, os componentes de rendimento de grãos e as características avaliadas de parte aérea foram influenciados pelos efeitos isolados de cultivar e níveis de P do solo (Tabela 1). Esse aspecto também pode ser visualizado nos apêndices I e II. Em baixo de P do solo, a massa de grãos/planta foi maior nas cultivares Barbarasul e Ouro, ambas com 1,25 g. No nível médio de P do solo, a maior massa de grãos por planta foi das cultivares Barbarasul (1,55 g), Ouro (1,42 g), Farroupilha (1,52 g) e Taura (1,43 g), enquanto que no nível alto isso ocorreu com as cultivares URS 21 (1,82 g), Barbarasul (2,00 g), FAEM 007 (1,82 g), Ouro (1,87 g), Farroupilha (1,78 g) e Taura (1,68 g) (Tabela 1). Nesses dois níveis de P (médio e alto), os valores de massa de grãos dessas cultivares foram cerca de 20% maiores, que a média da massa de grãos das cultivares avaliadas (1,37 g).

A massa média de grãos / planta das cultivares aumentou com o acréscimo do nível de P do solo, na seguinte ordem: nível baixo (1,15 g) < médio (1,42 g) < nível alto (1,75 g), indicando resposta positiva em produção de grãos, com o aumento do acúmulo de P do solo. Extrapolando para 300 mil plantas por ha, essa massa corresponde a 3.450 kg (nível baixo de P), 4.200 kg (nível médio) e 5.220 kg (nível alto), indicando que o nível baixo desse nutriente, embora tenha diminuído a massa de grãos, possibilitou uma produção razoável dessa parte da planta. Essa condição é adequada em trabalhos de ENP,

por que o nível de baixo de P deve possibilitar um crescimento razoável da planta, sem comprometer totalmente a produção vegetal, desde que o restringe, em relação ao nível médio ou alto.

A variação de resultados dos componentes de grãos avaliados (massa de mil grãos e número de grãos) não foi suficiente para explicar todas as diferenças de massa de grãos entre as cultivares, em baixo de P do solo. Por exemplo, nesse nível de P, a massa de mil grãos das cultivares Ouro e Taura (68,0 g) foi elevada, enquanto que o número de grãos foi baixo, no entanto, o rendimento de grãos da primeira foi um dos maiores, enquanto que isso não ocorreu com a última (Tabela 1). Isso também ocorreu com outras cultivares. Além disso, verificou-se que a massa de mil grãos não variou entre as cultivares, no nível médio de P.

No nível médio de P, a maior massa de grãos das cultivares mais produtivas (URS 21, Barbarasul, Ouro, Farroupilha e Taura) foi influenciada pelo maior número de grãos das cultivares URS 21, Barbarasul e Farroupilha; maior massa da parte aérea da Farroupilha; maior relação colmo/ folha das cultivares Barbarasul e Ouro; maior número de afilhos das cultivares URS 21, Barbarasul e Taura; maior proporção parte aérea / raiz das cultivares Ouro e Farroupilha (Tabela 1). Nesse nível de P do solo, a menor massa de grãos das cultivares Afrodite, FAPA Slava e FAEM 007 foi influenciada por menor massa da parte aérea, das cultivares FAPA Slava e FAEM 007; menor relação colmo/folha, da cultivar Afrodite; e menor relação parte aérea/raiz, das cultivares Afrodite, FAPA Slava e FAEM 007 (Tabela 1).

No nível alto de P, a maior massa de grãos das cultivares mais produtivas (URS 21, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farroupilha e Taura) não foi influenciada pela massa de mil grãos e o número de afilhos (exceto a Farroupilha e a Taura), mas resultou no maior número de grãos, das cultivares URS 21 e Barbarasul; e da maior massa da parte aérea, relação colmo/folha e parte aérea/raiz, das cultivares Barbarasul, Ouro e Taura (Tabela 1). A menor massa de grãos das cultivares Afrodite e FAPA Slava não foi influenciada pela massa de mil grãos e pela proporção colmo/folha, mas foi influenciada

pela menor quantidade de afilhos e menor número de grãos e massa da parte aérea na cultivar FAPA Slava (Tabela 1).

O efeito de P do solo na massa de grãos, quando esse fator foi analisado dentro das cultivares, foi positivo e ocorreu com o aumento de P do nível baixo para médio ou desse para alto, exceto com a FAPA Slava, cuja massa de grãos aumentou até o nível médio (Tabela 1). O mesmo efeito do aumento dos níveis de P do solo na massa de grãos foi verificado com a massa da parte aérea das cultivares URS 21, FAPA Slava, Barbarasul, FAEM 007 e Taura, sugerindo influência direta da massa da parte aérea na produção de grãos, nos três níveis de P do solo. Isso foi observado com a cultivar Afrodite, cujo rendimento de grãos, no nível alto de P do solo, foi semelhante a outras cultivares, embora essas tenham produzido mais nos níveis baixo e médio de P. Esse melhor desempenho da cultivar Afrodite, no nível alto de P, foi devido a maior massa da parte aérea, o que também explica a menor massa de grãos da cultivar Farroupilha, no nível baixo de P do solo, já que a produção da parte aérea dessa cultivar foi baixa (Tabela 1). Em todos as faixas de P do solo, os menores IC foram os da cultivar Afrodite, sugerindo a importância da partição de maior massa do grãos, em detrimento da parte aérea, para o aumento do rendimento de grãos (Tabela 1). Contudo, isso não foi verificado com a cultivar Ouro e Farroupilha, nos níveis baixo e médio de P do solo. Nessas cultivares, o IC foi menor que o IC médio das cultivares, mas a massa de grãos situou-se entre as cultivares mais produtivas nesses níveis. Nesse caso, possivelmente, um alto índice de área foliar possa explicar o maior acúmulo de massa de grãos dessas cultivares ou o melhor aproveitamento dos nutrientes nos grãos, já que produziram muita massa da parte aérea.

Tabela 1 - Massa de grãos, componentes de rendimento e características morfoagronômicas de parte aérea de cultivares de aveia-branca, em função de níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (continua).

Fósforo	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura
	Massa de grãos (g 13% de umidade) / planta *							
Baixo	B 0,96 c	B 0,96 c	B 1,06 b	A 1,25 c	B 1,02 c	A 1,25 c	B 0,98 c	B 1,08 c
Médio	A 1,56 b	C 1,16 b	B 1,33 a	A 1,56 b	B 1,38 b	A 1,45 b	A 1,55 ^b	A 1,43 b
Alto	A 1,78 a	B 1,46 a	B 1,50 a	A 1,97 a	A 1,82 a	A 1,86 a	A 1,78 a	A 1,68 a
C.V. (%)	7,00	9,17	6,45	9,31	5,91	9,44	8,95	10,51

Tabela 1 - Massa de grãos, componentes do rendimento e características morfoagronômicas da parte aérea de cultivares de aveia-branca, em função de níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (conclusão).

Fósforo	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura
Massa de mil grãos * (g)								
Baixo ¹	C 41,05 ^{ns}	C 41,05 ^{ns}	A 62,1 ^{ns}	B 50,5 ^{ns}	B 57,6 ^{ns}	A 60,2 ^{ns}	A 66,2 c	A 68 ^{ns}
Médio ²	^{ns} 64,5	49,4	62,3	50,1	56,05	67,9	72,8 b	68,8
Alto ³	B 54,4	C 46,1	B 62,7	B 51,3	B 58,8	B 64,8	A 89,5 a	A 77,0
C.V. (%)	17,66	15,2	13,75	16,01	12,61	15,43	18,88	13,97
Número de grãos / planta *								
Baixo	A 23 ^{ns}	A 23,4 ^{ns}	B 21,2 ^{ns}	B 20,2 ^{ns}	C 15,9 b	C 16,4 ^{ns}	B 20,9 a	C 16,36 ^{ns}
Médio	A 22,4	B 18,7	A 20,9	A 21,2	B 19,9 a	C 14,4	A 20,4 a	B 18,0
Alto	A 20,0	A 22,2	C 17,7	A 22,2	B 19,9 a	B 19,7	C 17,2 b	C 15,88
C.V. (%)	4,33	5,19	5,47	5,86	3,02	6,32	3,88	5,11
Colmo + folha (g) / planta								
Baixo	C 1,19 c	A 1,80 b	C 1,14 b	B 1,49 c	C 0,96 c	A 1,83 b	B 1,55 c	C 1,05 c
Médio	D 1,51 b	B 2,01 b	D 1,50 a	C 1,84 b	D 1,44 b	B 2,17 b	A 2,48 a	D 1,36 b
Alto	B 1,98 a	A 2,38 a	C 1,55 a	A 2,25 a	B 2,00 a	A 2,26 a	B 2,13 b	B 1,98 a
C.V. (%)	11,2	10,36	12,34	13,06	12,34	9,76	9,37	18,26
Relação colmo/folha								
Baixo	B 1,72 b	B 1,44 ^{ns}	A 2,57 a	B 2,02 ^{ns}	B 1,73 a	B 1,89 ^{ns}	B 1,56 b	A 2,35 a
Médio	A 2,03 a	B 1,52 ^{ns}	A 2,07 b	A 1,93	A 1,94 a	A 2,39	A 2,12 a	B 1,71 b
Alto	B 1,47 b	B 1,28 a	B 1,45 c	A 1,83	B 1,24 b	A 2,03	B 1,56 b	A 1,84 b
C.V. (%)	10,87	10,1	15,35	9,37	11,62	10,14	9,54	9,74
Número de afilhos / planta *								
Baixo	^{ns} 0 b	0 ^{ns}	0 c	0 b	0 ^{ns}	0 ^{ns}	0 b	0 b
Médio	A 3,25 a	B 0	A 2,5 b	A 1,5 b	B 0	B 0	B 0 b	A 1,75 b
Alto	C 2,50 a	C 1,75	A 8,00 a	B 4,25 a	D 0	D 0	B 3,50 a	B 3,75 a
C.V. (%)	1,38	2,13	1,27	1,39	1,89	2,15	1,67	1,73
Índice de colheita com base no colmo e folha + grãos								
Baixo	B 0,44 b	D 0,35 ^{ns}	A 0,48 ^{ns}	B 0,46 ^{ns}	A 0,52 b	C 0,41 b	C 0,39 b	A 0,51 a
Médio	A 0,51 a	C 0,37 a	B 0,47 a	B 0,46 a	A 0,49 a	C 0,40 B	C 0,38 b	A 0,51 a
Alto	A 0,47 a	B 0,38 a	A 0,49 a	A 0,47 a	A 0,48 a	A 0,45 a	A 0,46 a	A 0,46 b
C.V. (%)	6,49	6,23	7,11	7,45	6,89	7,45	6,88	6,01

*Análise da variância efetuada após os dados serem transformados. ¹ (0,7 a 3,7 mg/kg). ² (3,8 a 7,8 mg/kg). ³ (7,8 a 11,4 mg/kg) Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott knott ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam médias na linha, e letras minúsculas na coluna. C.V.: Coeficiente de variação, NS e ns: não significativo.

4.2 Sistema radicial

A massa de raiz, relação parte aérea/raiz, diâmetro e volume do sistema radicial foram influenciados pelos efeitos isolados de cultivar e níveis de P do solo (Tabela 2). No nível baixo de P do solo, a maior massa de raízes foi da cultivar Afrodite (0,73 g) (Tabela 2). Nesse nível de P, as cultivares com massa menor do sistema radicial foram a FAPA Slava (0,32 g), FAEM 007 (0,36 g) e Taura (0,31 g) (Tabela 2). Por outro lado, a menor massa de raiz da Taura foi compensada com maior produção de área (7,78 cm²), diâmetro (1,17 mm) e volume (22,96 cm³) do sistema radicial (Tabela 2).

No nível médio de P do solo, as cultivares não diferiram quanto a área e o volume do sistema radicial, diferente do observado no nível baixo desse nutriente. Por outro lado, elas diferiram quanto à massa e o diâmetro de raiz. A Afrodite e a Farroupilha produziram maior massa, enquanto que a FAPA Slava, a Ouro e a Taura se destacaram por produzirem os menores diâmetros de raiz (Tabela 2).

Comparando as características morfoagronômicas do sistema radicial com a massa de grãos das cultivares mais produtivas em massa de grãos (Tabela 1), verifica-se que a proporção parte aérea/raiz pode favorecer a produção de grãos, dependendo do nível de P do solo (Tabela 2). No nível baixo desse nutriente, as duas cultivares mais produtivas (Barbarasul e Ouro) foram as que produziram mais raiz, em relação a parte aérea, isto é, a proporção parte aérea: raiz foi menor (Tabela 2). Já, no nível médio de P do solo, ocorreu o contrário. As quatro cultivares menos produtivas em massa de grãos (URS 21, Afrodite, FAPA Slava e FAEM 007; Tabela 1) foram as com menor proporção massa da parte aérea/massa de raiz, indicando que o aumento do nível de P não foi suficiente, para essas cultivares, em diminuir o estímulo ao crescimento de raiz, como verificado com as cultivares mais produtivas em massa de grãos, principalmente, a Ouro e a Farroupilha, que aumentaram a massa da parte aérea em proporção a massa de raiz (Tabela 2), economizando a energia dos fotoassimilados para a produção da parte aérea, em detrimento da raiz.

No nível alto de P do solo, as cultivares não diferiram quanto a área, diâmetro e volume do sistema radicial (Tabela 2). As cultivares com maior massa de grãos neste nível (URS 21, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farroupilha e Taura; Tabela 1) foram as com maior proporção entre massa da parte aérea/raiz, com exceção da URS 21, em que essa proporção foi menor que as demais (Tabela 2). Entre as cultivares com menor massa de grãos nesse nível de P, destaca-se a Afrodite, que produziu a maior massa de raiz e, conseqüentemente, a menor proporção entre parte aérea e raiz (Tabela 2).

O efeito do nível de P do solo na massa de raiz, quando esse fator foi analisado dentro de cada cultivar, variou na seguinte ordem: nível alto de P > médio > baixo, nas cultivares FAPA Slava, Barbarasul, FAEM 007 e Taura; enquanto que com as cultivares URS 21, Afrodite, Ouro e Farroupilha a massa de raiz foi maior no nível alto e não diferiu entre os níveis médio e baixo (Tabela 2). As cultivares com maior massa de raiz, em função do aumento do nível de P do solo, também aumentaram a proporção entre parte aérea e raiz, no nível com maior disponibilidade desse nutriente no solo (Tabela 2). Por outro lado, esse tipo de efeito foi inexpressivo na área, diâmetro e volume do sistema radicial.

No nível baixo de P do solo, as cultivares URS 21, Farroupilha e Taura tiveram a maior área do sistema radicial (Tabela 2).

Em relação ao efeito dos níveis de P no diâmetro do sistema radicial, somente com a cultivar FAPA Slava observou-se resposta ao aumento dos níveis desse nutriente. No nível alto de P do solo, o valor dessa variável foi de 1,31 mm, sendo maior que o observado nos níveis médio e baixo desses nutrientes, em que o diâmetro de raízes não diferiu entre si (0,93 e 0,77 mm, respectivamente) (Tabela 2). O efeito do aumento dos níveis de P do solo também favoreceu o maior volume do sistema radicial nessa cultivar (23,25 cm³) e na Ouro (25,95 cm³), cujos valores foram maiores no nível alto de P. Por outro lado, a cultivar Taura teve maior valor dessa variável no nível baixo de P (22,96 cm³) (Tabela 2).

Tabela 2 - Características morfoagronômicas do sistema radicial de cultivares de aveia-branca em função dos níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (Continua).

Fósforo	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura
Massa de raiz (g) / Planta								
Baixo ¹	C 0,45 b	A 0,73 b	D 0,32 c	C 0,49 c	D 0,36 c	B 0,63 b	B 0,60 b	D 0,31 c
Médio ²	C 0,50 b	A 0,80 b	C 0,49 b	B 0,62 b	C 0,49 b	B 0,64 b	A 0,79 b	C 0,50 b
Alto ³	C 0,80 a	A 1,04 a	D 0,63 a	C 0,79 a	B 0,89 a	C 0,74 a	C 0,83 a	D 0,60 a
C.V. (%)	6,41	3,87	7,42	13,56	10,91	9,51	10,89	9,93
Massa da parte aérea (colmo + folhas) / massa de raiz								
Baixo	C 2,53 ^{ns}	B 2,72 ^{ns}	C 2,62 ^{ns}	C 2,62 c	D 2,45 b	B 2,76 ^{ns}	A 2,94 ^{ns}	D 2,40 c
Médio	C 2,52	C 2,59	C 2,68	B 2,80 b	C 2,6 b	A 2,89	A 3,01	B 2,76 b
Alto	C 2,6	D 2,56	B 2,72	A 3,00 a	B 2,77 a	A 2,83	A 2,94	A 3,03 a
C.V. (%)	4,43	1,93	2,02	5,87	3,41	3,64	5,69	4,66
Área (cm²) / planta								
Baixo	A 8,69 a	B 6,53 ^{ns}	B 5,29 ^{ns}	B 6,78 ^{ns}	B 6,33 ^{ns}	B 5,15 b	B 5,75 ^{ns}	A 7,78 ^{ns}
Médio	^{ns} 6,80 b	6,28	6,32	6,94	7,60	7,94 a	5,49	5,69
Alto	^{ns} 5,5 b	6,91	7,34	6,89	6,4	8,08 a	6,27	5,71
C.V. (%)	8,65	12,42	9,67	8,87	9,12	15,91	12,87	11,12
Diâmetro (mm) / planta								
Baixo	A 1,02 ^{ns}	B 0,82 ^{ns}	B 0,77 b	A 1,39 ^{ns}	A 1,12 ^{ns}	B 0,74 ^{ns}	B 0,90 ^{ns}	A 1,17 ^{ns}
Médio	A 1,31	A 1,33	B 0,93 b	A 1,20	A 1,18	B 0,95	A 1,37	B 0,91
Alto	^{ns} 1,61	1,02	1,31 a	1,12	1,15	1,25	1,22	0,75
C.V. (%)	6,13	6,98	8,63	10,76	8,99	9,12	6,75	6,92
Volume (cm³) / planta								
Baixo	A 22,04 ^{ns}	B 13,47 ^{ns}	B 10,34 b	A 23,83 ^{ns}	A 17,80 ^{ns}	B 9,45 b	A 16,92 ^{ns}	A 22,96 a
Médio	^{ns} 22,67	23,10	14,44 b	19,94	22,76	18,36 a	18,75	12,92 b
Alto	^{ns} 16,07	18,13	23,25 a	19,86	17,70	25,95 a	20,05	10,70 b
C.V. (%)	10,65	10,01	15,57	14,27	9,45	9,27	9,03	9,62

¹ (0,7 a 3,7 mg/kg). ² (3,8 a 7,8 mg/kg). ³ (7,8 a 11,4 mg/kg) Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam médias na linha, e letras minúsculas na coluna. C.V.: Coeficiente de variação, NS e ns: não significativo.

4.3 Fósforo da planta

O acúmulo e a partição de P na planta foram influenciados pelos efeitos isolados de cultivar e níveis de P do solo (Tabela 3 e Tabela 4). Em baixo de P do solo, a quantidade acumulada desse elemento na raiz foi maior na cultivar Barbarasul (0,96 mg/planta), enquanto nos níveis médio e alto de P do solo, o acúmulo foi maior na raiz da cultivar

Afrodite (1,19 e 1,73 mg/planta, respectivamente) (Tabela 4). O maior acúmulo de P do sistema radicial dessa cultivar, nesses níveis de P do solo, foi devido a maior produção de massa de raiz (Tabela 2). Já, no nível médio e alto de P do solo, o menor acúmulo de P do sistema radicial foi verificado na cultivar Taura (0,57 e 0,80 mg/planta, respectivamente), que não diferiu, no nível alto de P do solo, da cultivar FAPA Slava (0,79 mg/planta) (Tabela 3).

No nível baixo de P do solo, o maior acúmulo desse nutriente na folha e no colmo foram os das cultivares Afrodite, Barbarasul, Ouro e Farroupilha (Tabela 3). O menor acúmulo de P da cultivar Taura resultou em sintoma visual de deficiência de P (apêndice II e III). Já no nível alto de P do solo, houve maior acúmulo de P no colmo dessas cultivares (1,94 mg/planta; 1,59 mg/planta; 1,84 mg/planta; 2,00 mg/planta; 1,89 mg/planta, respectivamente) (Tabela 3).

No nível baixo e médio de P do solo, o acúmulo de P do grãos não variou entre as cultivares, mas variou no nível alto desse nutriente (Tabela 4). Nesse último nível de P, as cultivares com maior massa de grãos (URS 21, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farroupilha e Taura), acumularam mais P nessa parte da planta. Por outro lado, as cultivares que menos produziram grãos, a Afrodite e a FAPA Slava, acumularam menos esse nutriente no grãos, em relação às demais (Tabela 3).

Em todos os níveis de P testados, o maior acúmulo desse nutriente na parte aérea (colmo + folha + grãos) foi observado nas cultivares Barbarasul, Ouro e Farroupilha (Tabela 4). Já o maior acúmulo de P nessa parte da planta, juntamente com a quantidade de P da raiz, no nível baixo de P do solo (P total da planta), foi verificado com as cultivares Barbarasul e Ouro; enquanto no nível médio, o acúmulo de P foi maior na cultivar Farroupilha e, no nível alto desse nutriente, isso foi verificado nas cultivares URS 21, FAPA Slava, Barbarasul, Ouro e Farroupilha (Tabela 3).

Os acúmulos de P na raiz, folha e colmo variaram com o acréscimo do nível de P do solo, mas esse efeito dependeu da cultivar. O acúmulo de P da raiz, no nível médio do P do solo, das cultivares URS 21 (0,83 mg/planta), Barbarasul (0,88 mg/planta) e

Taura (0,57 mg/planta) não diferiu da quantidade acumulada no nível baixo e médio de P, enquanto que o P da raiz das cultivares Farroupilha (1,04 mg/planta) e FAPA Slava (0,84 mg/planta), cultivadas no solo com nível médio de P, não diferiu do acumulado no nível alto (Tabela 3). Já o acúmulo de P das demais cultivares diferiu entre o observado no nível médio e o verificado nos demais níveis de P do solo.

No nível médio de P do solo, o acúmulo desse nutriente na folha foi menor que o verificado no nível alto, em todas as cultivares, com exceção da Farroupilha (2,58 mg/planta), e foi superior ao nível baixo, nas cultivares Afrodite (1,82 mg/planta), FAPA Slava (0,73 mg/planta), FAEM 007 (0,85 mg/planta), Ouro (1,73 mg/planta) e Taura (0,73 mg/planta), como esperado (Tabela 3). O acúmulo de P do colmo das cultivares URS 21, FAPA Slava, FAEM 007, Ouro, Farroupilha, não variou entre os níveis médio e alto de P do solo, mas foi maior no nível baixo, com exceção da cultivar FAPA Slava (Tabela 3).

O maior do nível de P do solo aumentou o acúmulo de P no grãos de todas as cultivares (Tabela 4). No nível alto de P do solo, esse acúmulo foi maior que o verificado no nível baixo, enquanto que a quantidade acumulada no grãos das cultivares URS 21, Afrodite, Barbarasul e Farroupilha, no nível alto de P, também foi maior que o observado o nível médio desse nutriente (Tabela 3).

O efeito do nível de P do solo em aumentar o acúmulo de P desse nutriente na parte aérea e na extração total da planta (parte aérea + raiz) foi crescente com o aumento da disponibilidade desse nutriente, em todas as cultivares (Tabela 3).

Tabela 3 - Acúmulo de fósforo em diferentes partes de planta de cultivares de aveia-branca, em função de níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (continua).

Fósforo	FAPA							
	URS 21	Afrodite	Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura
Fósforo da raiz (mg / planta)*								
Baixo ¹	B 0,81 b	B 0,77 c	C 0,52 b	A 0,96 b	C 0,57 c	B 0,84 c	C 0,58 b	C 0,66 b
Médio ²	C 0,83 b	A 1,19 b	C 0,84 a	C 0,88 b	C 0,87 b	B 1,05 b	B 1,04 a	D 0,57 b
Alto ³	B 1,30 a	A 1,73 a	D 0,79 a	B 1,18 a	B 1,22 a	B 1,26 a	C 0,93 a	D 0,80 a
C.V. (%)	5,67	6,43	3,32	6,87	6,51	9,58	5,87	9,12

Tabela 3 - Acúmulo de fósforo em diferentes partes de planta de cultivares de aveia-branca, em função de níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (conclusão).

Fósforo	URS 21		FAPA Slava		FAEM 007		Ouro	Farroupilha	Taura
	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura	
Fósforo da folha (mg / planta)*									
Baixo	B 1,39 b	A 1,82 c	C 0,73 c	A 1,62 b	C 0,85 c	A 1,73 c	A 1,63 b	C 0,73 c	
Médio	D 1,21 b	A 2,31 b	C 1,50 b	B 1,86 b	C 1,45 b	B 2,14 b	A 2,58 a	D 1,28 b	
Alto	C 2,60 a	A 3,65 a	E 1,89 a	B 3,21 a	B 3,29 a	C 2,67 a	C 2,62 a	D 2,24 a	
C.V. (%)	1,99	4,76	2,97	7,74	4,33	5,98	4,76	5,82	
Fósforo	URS 21		FAPA Slava		FAEM 007		Ouro	Farroupilha	Taura
	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura	
Fósforo do colmo (mg / planta)*									
Baixo	B 0,86 b	A 1,29 b	B 0,98 a	A 1,19 b	B 0,75 b	A 1,41 b	A 1,13 b	B 0,85 b	
Médio	C 1,27 a	B 1,53 b	C 1,17 a	C 1,37 b	C 1,10 a	A 1,87 a	A 2,05 a	C 1,01 b	
Alto	B 1,47 a	A 1,94 a	B 1,20 a	A 1,84 a	B 1,35 a	A 2,00 a	A 1,89 a	B 1,52 a	
C.V. (%)	17,98	19,34	15,06	19,76	16,97	15,37	17,52	17,38	
Fósforo do grãos (mg / planta)*									
Baixo	^{NS} 3,47 c	2,98 c	3,74 b	4,35 c	3,87 b	4,28 b	3,32 c	3,71 b	
Médio	^{NS} 5,45 b	4,17 b	4,92 b	5,76 b	4,86 b	5,11 b	5,58 b	5,11 b	
Alto	A 7,37 a	B 5,99 a	B 5,63 a	A 7,75 a	A 6,92 a	A 8,13 a	A 7,81 a	A 6,87 a	
C.V. (%)	15,83	16,38	15,12	15,29	20,92	15,22	16,83	17,38	
Fósforo da parte aérea (colmo + folha + grãos) (mg / planta)*									
Baixo	B 5,73 c	B 6,10 c	B 5,45 b	A 7,16 c	B 5,48 c	A 7,43 c	A 6,08 c	B 5,29 c	
Médio	B 7,93 b	B 8,02 b	B 7,60 b	A 9,00 b	B 7,43 b	A 9,13 b	A 10,22 b	B 7,40 b	
Alto	B 11,46 a	B 11,59 a	C 8,70 a	A 12,80 a	B 11,57 a	A 12,81 a	A 12,33 a	B 10,63 a	
C.V. (%)	7,2	8,22	7,63	7,11	7,98	8,75	7,36	7,28	
Fósforo total (Parte aérea + raiz) (mg / planta)*									
Baixo	B 6,55 c	B 6,87 c	B 5,97 c	A 8,13 c	B 6,05 c	A 8,28 c	B 6,68 c	B 5,95 c	
Médio	C 8,77 b	C 9,21 b	C 8,44 b	B 9,89 b	C 8,30 b	B 10,18 b	A 11,27 b	C 7,97 b	
Alto	A 12,77 a	B 13,31 a	A 13,99 a	A 13,98 a	A 14,07 a	A 13,27 a	A 13,45a	B 11,45 a	
C.V. (%)	6,23	6,93	5,29	6,47	6,38	6,28	7,98	6,24	

* Análise da variância efetuada após os dados serem transformados. ¹ (0,7 a 3,7 mg/kg). ² (3,8 a 7,8 mg/kg). ³ (7,8 a 11,4 mg/kg) Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste

de Scott-Knott ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam médias na linha, e letras minúsculas na coluna. C.V.: Coeficiente de variação, NS e ns: não significativo.

No nível baixo de P do solo, a maior quantidade de P na parte aérea das plantas foi verificada nas cultivares FAPA Slava, FAEM 007, Ouro e Farroupilha. A maior alocação de P na parte aérea da cultivar FAPA Slava e FAEM 007 foi devido a maior proporção desse nutriente no grãos. Já nas cultivares Ouro e Farroupilha a maior proporção do P na parte aérea foi, possivelmente, devido a maior proporção desse nutriente no colmo (Tabela 4).

Como constatado no nível baixo de P do solo, com as cultivares FAPA Slava e FAEM 007, a maior concentração de P na parte aérea, nos níveis médio e alto desse nutriente verificada com as cultivares Farroupilha e Taura, foi devido a maior proporção do P no grãos (exceto a primeira cultivar no nível médio). Já a cultivar com maior proporção de P na raiz, colmo e folha foi a cultivar Afrodite, mas esse acúmulo de P não foi transferido, na mesma proporção, para o grãos. Assim, essa cultivar não foi eficiente na partição de P da parte aérea (colmo, folha) para o grãos (Tabela 4). Os resultados dessa tabela indicam que o acúmulo e a partição de P nas plantas de aveia, na média das cultivares, aumentou na seguinte ordem: raiz < colmo < folha < grãos.

Como não houve efeito entre cultivares X níveis de P do solo, o maior percentual de P no colmo foi das cultivares Afrodite, Ouro, Farroupilha e Taura. Já o efeito dos níveis de P do solo, dentro de cada cultivar, foi maior no baixo e médio, comparado com o alto (Tabela 4).

Tabela 4 - Partição de fósforo em diferentes partes de planta de cultivares de aveia-branca, em função de níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (continua).

Fósforo	URS 21	Afrodite	FAPA		FAEM		Ouro	Farroupilha	Taura
			Slava	Barbarasul	007				
Fósforo das raízes (% do total)*									
Baixo¹	A 12,36 a	A 11,2 b	B 8,71 ^{ns}	A 11,8 b	A 9,42 b	B 10,14 a	B 8,68 a	A 11,09 a	
Médio²	B 9,46 b	A 12,92 a	B 9,95	B 8,89 b	B 10,48 a	B 10,31 ^a	B 9,22 a	C 7,15 b	
Alto³	B 10,18 b	A 13 a	C 5,64	C 8,42 b	C 8,67 a	C 9,49 a	D 6,91 b	D 6,98 b	
C.V. (%)	9,54	9,72	10,96	10,33	10,56	11,86	9,54	9,67	

Tabela 4 - Partição de fósforo em diferentes partes de planta de cultivares de aveia-branca, em função de níveis de fósforo do solo. Passo Fundo, RS, 2016 (conclusão).

Fósforo	URS 21	Afrodite	FAPA		FAEM		Ouro	Farroupilha	Taura
			Slava	Barbarasul	007				
Fósforo da folha (% do total)*									
Baixo	B 21,22 a	A 26,49 ^{ns}	C 12,22 b	B 19,92 b	C 14,04 c	B 20,89 ^{ns}	A 24,4 a	C 12,26 c	
Médio	C 13,79 b	A 25,08	B 17,77 a	B 18,8 b	B 17,46 b	A 21,02	A 22,89 a	C 16,06 b	
Alto	C 20,36 a	A 27,44	C 13,5 a	B 22,92 a	A 23,38 a	C 20,12	C 19,47 b	C 19,56 a	
C.V. (%)	10,7	10,4	9,54	9,12	9,58	11,85	12,75	9,11	
Fósforo do colmo (% do total)*									
Baixo	13,13	18,78	16,42	14,64	12,4	17,03	16,92	14,29	
Médio	14,48	16,61	13,86	13,85	13,25	18,37	18,19	12,67	
Alto	11,51	14,59	8,58	13,14	9,59	15,07	14,05	13,28	
Média	B 13,04	A 16,65	B 12,95	B 13,87	B 11,74	A 16,82	A 16,38	A 13,41	
C.V. (%)	16,02	14,74	13,75	15,11	15,31	14,8	16,84	15,37	
Fósforo do grãos (% do total)*									
Baixo	B 52,97 b	C 43,37 ^{ns}	A 62,64 ^{ns}	B 53,5 ^{ns}	A 63,96 a	B 51,69 b	B 49,7 b	A 62,35 ^{ns}	
Médio	A 62,14 a	B 45,27	A 58,29	A 58,24	A 58,55 b	B 50,19 b	B 49,51 b	A 64,11	
Alto	A 57,71 a	B 45,03	C 40,24	A 55,35	B 49,18 c	A 61,26 a	A 58,06 a	A 60 a	
C.V. (%)	7,87	6,47	7,32	7,95	7,52	7,54	7,45	6,13	
Fósforo da parte aérea (colmo + folha + grãos) (% do total)*									
Baixo	B 87,48 b	B 88,79 ^{ns}	A 91,28 ^{ns}	B 88,19 b	A 90,57 ^{ns}	A 89,73 ^{ns}	A 91,16 b	B 88,9 b	
Médio	B 90,42 a	C 87,07	B 90,04	B 91 a	B 89,51	B 89,68	B 90,68 a	A 92,84a	
Alto	C 89,74 a	D 87,14	B 62,18	B 91,42 a	B 82,23 a	B 96,53	A 91,67 a	A 92,83a	
C.V. (%)	1,44	1,03	1,11	1,28	1,45	1,74	1,23	1,9	

4.4 Eficiência nutricional¹ (0,7 a 3,7 mg/kg). ² (3,8 a 7,8 mg/kg). ³ (7,8 a 11,4 mg/kg) Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam médias na linha, e letras minúsculas na coluna. C.V.: Coeficiente de variação, NS e ns: não significativo.al em relação ao fósforo.

4.4 Eficiência nutricional em relação ao fósforo

As eficiências de uso, de translocação, de aquisição e de enraizamento foram influenciadas pelos efeitos isolados de cultivar e quantidades de P do solo (Tabela 5). No nível baixo de P, as cultivares com maior EUP foram a FAPA Slava, a Barbarasul, a

FAEM 007, a Ouro e a Taura, enquanto que as cultivares URS 21, Afrodite e Farroupilha foram as cultivares com menor EUP (Tabela 5). Contudo, no nível médio de P do solo, houve diferença na EUP dessas três últimas cultivares. A EUP da Afrodite foi a menor entre todas as cultivares ($148,3 \text{ g}^2$ de grãos/g P na planta), enquanto que a da Farroupilha ($215,1 \text{ g}^2$ de grãos/g P na planta) foi intermediária e a da URS 21 ($280,0 \text{ g}^2$ de grãos/g P na planta) foi uma das maiores, juntamente com a Barbarasul, FAEM 007 e Ouro. No nível alto de P, a EUP das cultivares diferiu apenas entre a Afrodite e as demais, que foram mais eficientes (Tabela 5).

A maior EUP da FAPA Slava e da FAEM 007, no nível baixo de P, possivelmente, resultou das maiores ETP e EAP dessas cultivares. Já a maior EUP da Ouro deve-se a maior ETP, enquanto que a maior EUP da Taura deve-se a maior EAP (Tabela 5). No entanto, a ETP e a EAP da Barbarasul não teve relação com a maior EUP, pois foram menores que os valores das outras cultivares com maior EUP (Tabela 5). Possivelmente, a maior EUP da Barbarasul se deve a menor EEP dessa cultivar, pois, em geral, esse tipo de eficiência teve relação inversa com a EUP (Tabela 5).

Quando comparado dentro do fator cultivar, em geral, o acréscimo do nível de P do solo aumentou a EUP, mas esse efeito ocorreu com um maior número de cultivares (exceto a Afrodite e a FAPA Slava), quando o nível de P passou de baixo para médio ou para alto. No nível alto de P, somente a cultivar Ouro aumentou a EUP, em relação ao valor obtido no nível médio desse nutriente. Por outro lado, em geral, o efeito do nível de P do solo afetou pouco os outros índices de eficiência nutricionais (ETP, EAP e EEP) (Tabela 5).

A cultivar URS 21 teve acréscimo de EUP, no nível médio de P do solo, comparado ao nível baixo. Essa maior eficiência possibilitou que URS 21 fosse uma das cultivares com maior EUP, no nível médio. Por outro lado, isso não ocorreu com as cultivares Afrodite e FAPA Slava, que não aumentaram a EUP, quando o nível de P do solo passou de baixo para o médio. Assim, essas cultivares continuaram com baixa EUP quando comparadas com as demais cultivares, nesse último nível de P. Embora a EUP tenha aumentado quando o nível desse nutriente passou de baixo para médio, em geral,

isso não significou aumento de massa de grãos nas cultivares que responderam em EUP (Tabela 1).

Em relação ao efeito do nível de P do solo na EEP observaram-se diferenças entre as cultivares Afrodite, Barbarasul e Taura. A EEP da Afrodite foi menor no nível baixo P do solo, em relação aos outros dois níveis desse nutriente, enquanto que a EEP da Barbarasul e da Taura foi menor. Por outro lado, com o aumento do nível de P do solo, essas cultivares produziram menos raiz, em relação a quantidade de P da parte aérea (Tabela 5).

Tabela 5 - Índices de eficiência nutricional de fósforo de cultivares de aveia-branca, em função de níveis desse nutriente no solo. Passo Fundo, RS, 2016 (continua).

Fósforo	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura
Eficiência de uso (g² de MS do grãos / g P total)								
Baixo ¹	B 142,5 b	B 135,7 ^{ns}	A 190,4 ^{ns}	A 195,5 b	A 172,6 b	A 191,2 b	B 145,6 b	A 201,0 b
Médio ²	A 280,0 a	C 148,3	B 212,4	A 246,9 a	A 230,8 a	B 208,8 b	B 215,1 a	A 262,0 a
Alto ³	A 253,8 a	B 160,4	A 238,9	A 281,5 a	A 260,0 a	A 249,3 a	A 240,7 a	A 248,3 a
C.V. %	1,45	1,15	1,00	1,45	0,88	1,52	1,45	2,29
Eficiência de translocação (g de P da parte aérea / g de P total da planta)								
Baixo	B 887,1 b	B 886,6 ^{ns}	A 912,9 ^{ns}	B 880,9 b	A 904,5 ^{ns}	A 896,8 ^{ns}	A 910,7 b	B 887,34 b
Médio	A 904,8 b	C 869,96	B 899,5	B 909,2 a	B 894,7	B 895,7	B 907,1 b	A 927,1 a
Alto	C 896,0 a	D 869,9	B 916,0	B 914,0 a	B 904,0	B 910,0	A 929,1 a	A 928,7 a
C.V. %	1,31	0,89	1,05	1,75	1,76	1,64	1,52	1,65
Eficiência de aquisição (g de P total da planta / g de P da raiz)								
Baixo	B 8,00 ^{ns}	B 8,86 ^{ns}	A 11,65 ^{ns}	B 8,42 b	A 10,73 ^{ns}	B 9,84 ^{ns}	A 11,72 b	A 9,11 b
Médio	B 10,53	C 7,71 ^{ns}	B 10,45	B 11,45 a	B 9,73	B 9,98	B 10,81 b	A 13,91 a
Alto	C 9,78	D 7,69	B 11,95	B 11,88 a	C 10,49	C 11,18	A 14,23 a	A 14,35 a
C.V. %	4,58	2,57	4,81	7,53	6,52	6,07	7,20	7,27
Eficiência de enraizamento (g² de raiz / g de P da parte aérea + g de P do grãos)								
Baixo	B 59,09 ^{ns}	A 79,00 b	B 46,54 ^{ns}	B 58,58 a	B 52,43 ^{ns}	A 64,06 ^{ns}	B 39,91 ^{ns}	A 76,14 a
Médio	B 71,41	A 104,67 a	C 48,49	C 51,16 a	B 59,52	C 54,06	C 49,06	C 35,45 b
Alto	B 72,09	A 102,92 a	C 41,12	C 34,04 b	C 46,18	C 47,02	C 34,84	C 29,18 b
C.V. %	14,60	11,94	18,88	33,47	26,20	25,38	22,03	24,22
Eficiência de enraizamento (g² de raiz / g de P da parte aérea + g de P do grãos)								
Baixo	B 59,09 ^{ns}	A 79,00 b	B 46,54 ^{ns}	B 58,58 a	B 52,43 ^{ns}	A 64,06 ^{ns}	B 39,91 ^{ns}	A 76,14 a
Médio	B 71,41	A 104,67 a	C 48,49	C 51,16 a	B 59,52	C 54,06	C 49,06	C 35,45 b
Alto	B 72,09	A 102,92 a	C 41,12	C 34,04 b	C 46,18	C 47,02	C 34,84	C 29,18 b
C.V. %	14,60	11,94	18,88	33,47	26,20	25,38	22,03	24,22

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). ¹ (0,7 a 3,7 mg/kg). ² (3,8 a 7,8 mg/kg). ³ (7,8 a 11,4 mg/kg). Letras maiúsculas comparam médias na linha, e letras minúsculas na coluna. C.V.: Coeficiente de variação, NS e ns: não significativo.

Conforme ilustrado no diagrama de eficiência e de resposta a P, as cultivares Barbarasul e Ouro foram eficientes e responsivas (ER), situando-se no quadrante superior, do lado direito desse diagrama, ou seja, produziram mais grãos que a média geral das cultivares, no nível baixo de P do solo (Figura 5). Essas cultivares, produziram a mesma massa de grãos (1,25 g/planta, Tabela 1), e responderam de forma semelhante ao acréscimo do nível de P do solo, com incremento entre 0,10 a 0,11 g de produção de grãos (Figura 5). Por outro lado, a Taura foi eficiente em relação ao baixo P do solo, mas não respondeu ao aumento do nível desse nutriente no solo, situando-se no quadrante inferior direito do diagrama.

Conforme ilustrado no lado esquerdo do quadrante do diagrama da Figura 5, as cultivares URS 21, FAEM 007, Farroupilha e Afrodite não foram eficientes em utilizar o P do solo para produção de grãos. No entanto, essas cultivares diferiram em relação à resposta ao P. A URS 21, a FAEM 007 e a Farroupilha responderam ao aumento desse nutriente no solo; enquanto que a Afrodite, além de não ser eficiente, não respondeu ao P, situando-se no quadrante inferior do lado esquerdo. Já a cultivar FAPA Slava teve a mesma massa de grãos no nível baixo de P, que a média das cultivares avaliadas (1,07 g), sendo, portanto, intermediária entre as cultivares eficientes e as não eficientes em relação ao baixo P do solo (Figura 5).

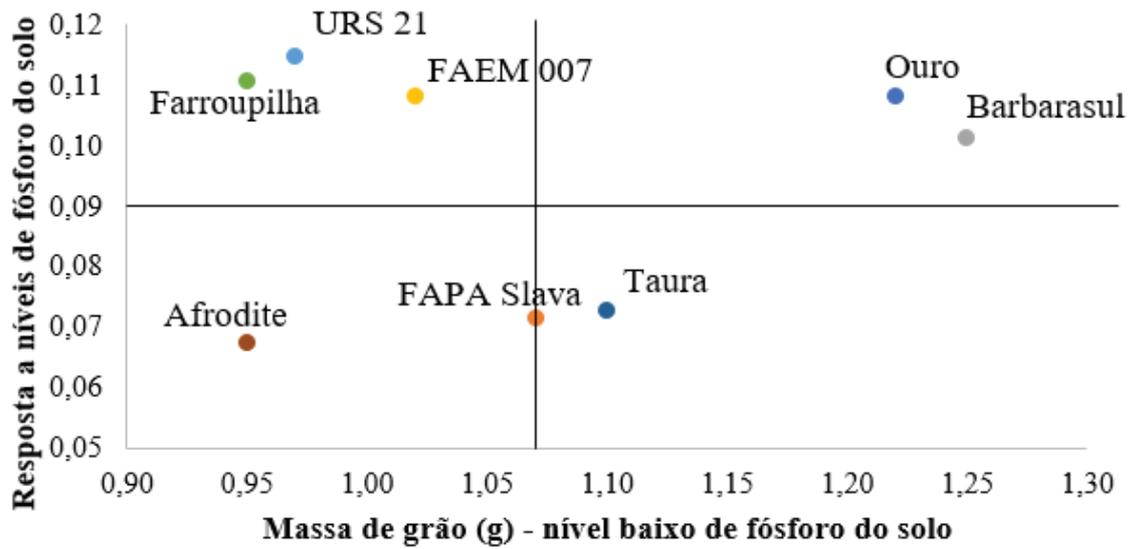


Figura 5 – Eficiência nutricional e resposta a ao aumento de fósforo (P) do solo de cultivares de aveia-branca. A eficiência nutricional foi baseada na massa de grãos em solo com baixo nível de P (Eixo x) e a resposta de P foi baseada no aumento dessa massa quando o nível desse nutriente varia de baixo para alto (Eixo y). Passo Fundo, RS, 2016.

¹NER não eficiente e responsiva, ²ER eficiente e responsiva, ³NENR não eficiente e não responsiva, ⁴ENR eficiente e não responsiva.

5 DISCUSSÃO

5.1 Massa de grãos, componentes de rendimento e características morfoagronômicas da parte aérea

No nível baixo de P do solo, o número de afilhos foi a única variável que não diferiu entre as cultivares (Tabela 1), possivelmente, por que a restrição desse nutriente no solo foi suficiente para limitar o desenvolvimento da cultura e não possibilitar a emissão de afilhos (EPSTEIN; BLOOM, 2006), como não verificado nos outros níveis de P do solo. No Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, considera-se que os níveis de P do solo são baixos quando o rendimento relativo (RR) das plantas avaliadas nos experimentos de calibração de doses, situa-se entre 40 e 75% do RR máximo (BONA et al., 2016). No nível de P considerado baixo no experimento, o RR de 70% das amostras correspondeu a 40 e 60% do RR máximo, indicando que o nível de P do solo foi limitante a cultura da aveia, influenciando negativamente o afilhamento (SHENOY; KALAGUDI, 2006; WOLSCHICK et al., 2016).

As cultivares com maior massa de grãos, no nível baixo de P do solo, (Barbarasul e Ouro), foram as com maior massa de mil grãos e maior massa da parte aérea (exceto a Barbarasul). Já as menores massas de grãos das cultivares FAPA Slava, Farroupilha e Taura foram devido ao menor número de grãos dessas cultivares, que foi determinante em limitar a produção de grãos dessas cultivares, embora a massa de mil grãos tenha sido elevada (KREMER et al., 2013). Isso ocorreu mesmo que a massa de mil grãos dessas cultivares tenha sido 55% maior que o observado com a URS 21 e a Afrodite. Em trabalhos em campo, essa variação costuma ser menor, entre 16% a 27%, e não implica na massa de grãos (FONTANELI et al., 2012 a; FONTANELI et al., 2012 b), como observado com a maioria das cultivares (FAPA Slava, Farroupilha e Taura).

No nível médio e alto de P do solo, a maior produção de grãos variou com o aumento da massa de mil grãos e do número de grãos, e esse último componente de rendimento foi decisivo para aumentar a massa de grãos da maioria das cultivares, como constatado em outros trabalhos com aveia-branca e preta (ALVES; KIST 2010; SILVA et al., 2011) e outras espécies (FAGERIA; BALIGAR, 1997, 1999), em resposta a P do solo. A massa de grãos das cultivares Barbarasul, Ouro, Farroupilha e Taura foi maior que a obtida nas outras cultivares, nesses dois níveis de P. Possivelmente, entre as variáveis avaliadas, isso tem relação, em geral, com o maior número de grãos, a relação colmo/folha e a massa da parte aérea observada nessas cultivares e nos níveis médio e alto de P (Tabela 1). Além dessas cultivares, no nível alto de P, a massa de grãos também foi maior com as cultivares URS 21 e FAEM 007. Contudo, as outras variáveis avaliadas no trabalho não foram maiores nessas cultivares, exceto o número de grãos da URS 21, destacando mais uma vez a importância desse componente do rendimento de grãos, como observado por Alves; Kist (2010) e Fontaneli et al. (2012), em aveia-branca.

No nível médio e alto de P, além da influência do número de grãos, a massa de grãos das cultivares mais produtivas, em geral, acompanhou a variação de produção de massa da parte aérea (colmo + folhas) e a proporção colmo/folha, isto é, os valores dessas variáveis também foram maiores nessas cultivares. Contudo, a influência dessas características morfoagronômicas variou com o nível de P. No nível médio, a proporção colmo/folha foi maior nas cultivares mais produtivas (Barbarasul, Ouro e Farroupilha, exceto a Taura); enquanto que, no nível alto de P, essas cultivares se destacaram devido a maior massa da parte aérea (Tabela 1). Por outro lado, as cultivares que menos produziram grãos, nesse nível de P (Afrodite, Fapa Slava e FAEM 007); e no nível alto desse nutriente (Afrodite e Fapa Slava); produziram menos massa da parte aérea e, em geral, a proporção colmo/folha foi menor (Tabela 1). Possivelmente, isso melhorou a capacidade de produção de fotoassimilados, e, conseqüentemente, aumentou a disponibilidade de energia para produção de grãos (TAIZ; ZEIGER, 2017). Já a maior proporção colmo/folha resulta em menor dreno de fotoassimilados, para a manutenção da folha, e, conseqüentemente, maior disponibilidade de energia para o desenvolvimento de grãos (TRINDADE et al., 2014). A relação direta entre proporção colmo/folha e massa

de grãos de cultivares, observada no trabalho, também foi verificada por KREMER et al., (2013), em trabalho com aveia-branca. A média dos valores de proporção colmo/folha relatada por esses autores foi de 2,39, o que é próxima da que observamos no trabalho (1,77, no nível médio e alto de P do solo) (Tabela 1).

No nível médio e alto de P do solo, a produção de afilhos, em geral, teve relação inversa com a massa de grãos produzida. As únicas cultivares em que essa característica teve relação direta com a produção de grãos foi a Barbarasul e Taura, no nível médio de P. Nessas cultivares, os afilhos proporcionaram maior número de grãos e, conseqüentemente, maior produção (Tabela 1), como constatado por Silva et al. (2016), em trabalho com aveia-branca. Por outro lado, no nível alto de P do solo, a massa de grãos dessas cultivares situou-se entre as mais produtivas devido a maior produção da parte aérea (colmo + folha). Essas características aumentam a disponibilidade de energia para a emissão de novas estruturas na planta, resultando em maior produção de massa de grãos (TAIZ; ZEIGER, 2017). Dessa forma, isso também possibilitou a formação de maior número de grãos e massa de mil grãos na Cultivar URS 21 (Tabela 1).

Ao analisar o efeito dos níveis de P do solo, dentro de cada cultivar, observou-se que a massa de grãos aumentou com o acréscimo de P disponível do solo, em todas as cultivares; e que houve diferença entre o nível alto e os demais, mas isso não foi verificado entre o nível baixo e médio de P (Tabela 1). A maior massa de grãos dessas cultivares no solo com maior nível de P é explicada pela função desse nutriente na planta, que afeta vários processos metabólicos (LAMBERS; MARATINOIA; RENTON, 2015) e é constituinte de vários compostos (SILVA et al., 2011). Em solo com menor disponibilidade de P, a planta diminui o metabolismo e, conseqüentemente, limita o potencial produtivo (SBCS, 2007; GUIMARÃES et al., 2016).

A produção de massa seca da parte aérea (colmo + folha) (Tabela 1), em relação ao nível de P do solo, seguiu a seguinte ordem: baixo \leq médio < alto. No nível baixo desse nutriente, a massa da parte aérea das cultivares, exceto a Afrodite, foi menor, que o observado nos demais níveis de P por que a planta, em condição de deficiência desse

nutriente, reduz o crescimento e a expansão celular, a fim de conseguir produzir grãos com o pouco P disponível (EPSTEIN; BLOON, 2006; SILVA et al., 2011).

5.2 Sistema radicial

O arranjo, a massa e a morfologia de raízes afeta diretamente a capacidade da planta em adquirir nutrientes pouco móveis, como o P (FAGERIA et al., 2010) e, conseqüentemente, pode influenciar o crescimento. Por outro lado, o maior crescimento do sistema radicial, em detrimento do crescimento da parte aérea pode diminuir o aporte de fotoassimilados no grãos e, conseqüentemente, a produção dessa parte da planta (EPSTEIN; BLOON, 2006). Os resultados do sistema radicial evidenciam a influência dessa parte da planta na massa de grãos das cultivares de aveia avaliadas (Tabela 2). A cultivar Afrodite, em geral, em todos os níveis de P do solo, produziu maior massa do sistema radicial. Contudo, isso não resultou em maior produção de massa seca de grãos, pois o crescimento de raiz dessa cultivar não foi acompanhado, na mesma proporção, do crescimento da parte aérea, como indica a menor proporção parte aérea/raiz, nos níveis médio e alto de P (Tabela 2). Isso acarreta maior necessidade de energia para o crescimento radicial diminuindo, conseqüentemente, a produção de grãos (WENDLING et al., 2016). Além disso, o maior acúmulo de P na planta, exceto no grãos, também foi verificado nessa cultivar (Tabela 2). Plantas com maior eficiência em enraizamento ou translocação de P para a parte aérea não necessariamente produzem mais grãos, pois para isso também é importante que elas tenham maior eficiência em transferir esse nutriente para essa parte da planta (MANSCHADI et al., 2014), como verificado com a Afrodite. Essa cultivar, embora tenha produzido maior massa de raiz e acumulado mais P na parte aérea, não produziu mais massa de grãos, em relação as outras cultivares avaliadas.

Diferente da Afrodite, as cultivares mais produtivas no nível médio de P (Barbarasul, Ouro, Farropilha e Taura) ou as mais produtivas no nível alto desse nutriente (as mesmas do nível médio, além da URS 21 e da FAEM 007) produziram menos massa de raiz e, em geral, maior proporção parte aérea/raiz (LAMBERS; TESTE, 2013) (Tabela

2), o que possibilitou drenar mais os fotoassimilados da parte aérea para o grãos e menos para a raiz (WANG; SHEN; LIAO, 2010), resultando em maior produção de grãos.

Embora nos níveis médio e alto de P do solo, em geral, as plantas com maior produção de grãos foram as com maior proporção parte aérea/raiz, deve-se ter cautela em generalizar a idéia de que isso sempre resulte em maior rendimento de grãos (MANSCHANDI et al., 2014). Isso pode ser verificado em estudos com trigo, em que o crescimento do sistema radicial foi menor, devido a maior disponibilidade de P do solo, comparativamente a massa da parte aérea (LYNCH et al., 2011). Por outro lado, a proporção parte aérea/raiz das cultivares de aveias avaliadas no trabalho, com exceção da Barbarasul, FAEM 007 e Taura, não responderam ao aumento do nível de P do solo, como verificado em estudo com aveia-preta (SILVA et al., 2011). Isso se deve a resposta positiva dessas duas variáveis verificada com o aumento do nível de P do solo, que variaram em magnitudes semelhantes (Tabelas 1 e 2), resultando em valores constantes da proporção dessas duas variáveis, em resposta ao aumento do P do solo (Tabela 2).

A massa seca de raiz aumentou em cerca de 25%, quando o nível de P do solo passou de baixo para alto, e foi semelhante ao aumento relatado com aveia-preta (cerca de 32%) por SILVA et al. (2011). A maior produção de massa seca de raiz, no nível alto de P, indica maior alocação de reservas e disponibilidade de energia, para esse órgão (WANG; SHEN; LIAO, 2010; HALING et al., 2016). Contudo, a massa de raiz produzida não reflete a capacidade de contato desse órgão com o P disponível do solo, assim, essa é uma característica pouco importante quanto a capacidade da cultivar em adquirir P do solo. Assim, a maior proporção parte aérea/raiz, observada nas cultivares Barbarasul, FAEM 007, Farroupilha e Taura, no nível alto de P, mostra que a massa da parte aérea cresceu mais comparativamente com a massa da raiz, o que possibilita um melhor aproveitamento do aumento do P disponível no solo para a produção de grãos ou forragem (PRADO; ROMUALDO; VALE, 2006; SILVA et al., 2011). Isso também foi observado em outros trabalhos com gramíneas e leguminosas, porém em solo com baixo nível de P (FAGERIA; BALIGAR, 1997, 1999; BALIGAR; MOREIRA; PORTES, 2010; HERVÉ et al., 2013).

5.3 Fósforo em tecidos vegetais

O acúmulo de P na planta variou com a interação dos fatores estudados e com o efeito isolados de cultivar ou nível de P (Tabela 3). O acúmulo total de P na planta, ou da parte aérea, foi crescente com o maior nível de P do solo, em todas as cultivares avaliadas, mas essas diferiram, conforme a parte da planta avaliada e o nível de P do solo. Esse efeito indica que as plantas responderam aos tratamentos com o P do solo, como verificado nos resultados da massa de grãos, que, em geral, também foi crescente com o aumento do P do solo (Tabela 1), como confirmado em outra espécie (soja) (FAGERIA; MOREIRA; CASTRO, 2011). O menor acúmulo de P na planta, observado no nível baixo desse nutriente do solo (Tabela 3), indica que todas as cultivares de aveia cresceram em condições de menor disponibilidade de P e que isso limitou o acúmulo desse nutriente e, conseqüentemente, de biomassa (NAKAGAWA et al., 2009; WOLSCHICK et al., 2016). Assim, a menor disponibilidade de P do nível baixo contribuiu para a pouca diferença de massa de grãos entre as cultivares (Tabela 1). Como mostram os resultados dessa tabela somente duas cultivares (Barbarasul e Ouro) produziram mais massa de grãos, nesse nível de P do solo. Essas cultivares se destacaram em relação às demais por acumularem mais esse nutriente quando expresso como o total de P da planta ou como o P da parte aérea, principalmente em colmo e folhas (tabela mg/planta). Geralmente, essas partes da planta podem acumular mais P que em raízes, como observado em aveia-preta (WENDLING et al., 2016; WOLSCHICK et al., 2016) ou no nosso trabalho, em que se verificou cerca de 3 vezes mais P no colmo e folhas, em relação a raiz (Tabela 4). Por outro lado, não houve diferenças de acúmulo de P nos grãos das cultivares, no nível baixo de P (Tabela 3) e as diferenças de partição do P nessa parte da planta explicam os resultados de maior massa de grãos da Barbarasul e Ouro (Tabela 4), possivelmente, devido ao efeito de diluição desse nutriente na matéria seca de grãos (EPSTEIN; BLOON, 2006), já que foram as cultivares mais produtivas. Nesse sentido, as cultivares menos produtivas concentraram

o P no grãos, principalmente, a FAPA, FAEM 007 e a Taura, com cerca de 65 % do P acumulado, contra cerca de 50 % das cultivares mais produtivas (Tabela 4).

A Barbarasul e a Ouro, além de acumularem mais P nesses tecidos da planta, produziram mais massa seca de colmo e folha, no nível baixo de P, exceto em relação à Afrodite e Farroupilha (Tabela 1). Contudo, o sistema radicial dessas cultivares não teve diferenças expressivas em relação às outras cultivares (Tabela 2) que justifiquem a maior massa de grãos e o maior acúmulo de P na planta. Possivelmente, isso se deve a época de avaliação tardia (início do desenvolvimento a planta tem menor sistema radicial e maior aquisição do P), cultivo em vaso (disponibilidade constante de água favorecendo a difusão) e avaliação de classes de diâmetros de raízes.

No nível alto de P do solo, as cultivares que mais produziram grãos (URS 21, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farroupilha e Taura) (Tabela 1) foram as que mais acumularam esse nutriente, ao ser expresso como P total da planta e o contrário ocorreu com as duas cultivares menos produtivas (Afrodite e FAPA Slava) (Tabela 3). Como mostram os resultados dessa tabela, a FAPA Slava foi a cultivar que menos acumulou P em todas as partes da planta avaliadas no trabalho (raiz, colmo, folha, grãos). Já a Afrodite foi a que mais acumulou P nessas partes, exceto no grãos, o que indica que essa cultivar tem baixa mobilização desse nutriente da parte aérea para o grãos.

Os resultados do P na planta (Tabelas 3 e 4), quando comparados com a massa de grãos (Tabela 1), evidenciam a importância desse nutriente para a produção de grãos das cultivares avaliadas, com observado em outros trabalhos com cereais (FAGERIA; MOREIRA; CASTRO, 2011; MELO et al., 2011; WENDLING et al., 2016; WOLSCHICK et al., 2016). Além disso, os resultados observados, no nível alto de P do solo, evidenciam que não houve efeito de diluição desse nutriente na matéria seca dos grãos, como constatado por Wolschick et al. (2016) em aveia-branca, das cultivares mais produtivas. Nesse caso, o menor acúmulo de P verificado na FAPA Slava deve-se, possivelmente, a menor massa de raiz (Tabela 2) e de colmo e folha (Tabela 3) (HALING et al., 2016), enquanto que o verificado com a Afrodite deve-se a menor eficiência em

transferir o P da parte aérea para o grãos, como constatado em outros trabalhos (NAKAGAWA ; ROSOLEM, 2005; SORATTO ; CRUSCIOL, 2008).

Os resultados da partição de P na planta mostram que houve diferenças entre cultivares e que a maior parte desse nutriente foi transferida para o grãos, enquanto que na raiz verificou-se a menor parte do P absorvido (Tabela 4). A maior partição do P da planta no grãos é comum em cereais e está relacionada com a finalidade de utilização desse nutriente, que participa de diversos processos metabólicos que ocorrem no grãos (EPSTEIN; BLOON, 2006). Parte do P do grãos encontra-se na forma de ácido fítico e é fonte de energia, utilizada pelo embrião no momento da germinação (KERBAUY, 2008; GUIMARÃES et al., 2016).

Os resultados de P na planta, quando expressos em nível na matéria seca (g/kg; Apêndice IV), nos três níveis de P do solo, indicam que os valores obtidos, em todos os órgãos da planta analisados, estão dentro da faixa de suficiência desse nutriente, relatada em trabalhos com aveia-branca (BONA et al., 2016; WENDLING, 2016); ou com aveia-preta (NAKAGAWA; ROSOLEM, 2005; NAKAGAWA, 2009), já que há similaridade quanto à concentração desse nutriente no tecido dessas duas espécies.

5.4 Eficiência nutricional

5.4.1 Índices de eficiência nutricional

As eficiência de uso de P das cultivares Barbarasul, FAEM 007 e Taura foram maiores que as demais cultivares, nos três níveis de P do solo (Tabela 5), indicando que essas cultivares tem a capacidade de produção de massa de grãos com menor demanda de

P na planta, como verificado com cultivares de batata e linhagens de milho (GONDIM et al., 2014; SANDÃANA, 2016). Contudo, dessas cultivares somente a Barbarasul produziu mais grãos nos três níveis de P do solo, enquanto que a massa seca da FAEM 007 foi maior somente no nível alto de P e a da Taura nesse nível e no médio (Tabela 1). A menor produção da FAEM, possivelmente, pode ser devido as menores ETP e EAP, verificadas no nível médio de P; ou de EER, verificada nesse nível e no nível baixo desse nutriente (Tabela 5). Já a Taura, possivelmente, produziu menos grãos no nível baixo de P devido a menor ETP. Além disso, outras características dessa cultivar, como menor quantidade de P da raiz, folha e colmo (Tabela 3), e o menor número de grãos e menor massa de colmo e folha, favoreceram a maior massa de grãos produzida no nível baixo (Tabela 1).

No nível médio e alto de P do solo, além da Barbarasul, FAEM 007 e Taura, a cultivar URS 21 também teve maior EUP (Tabela 5) e, conseqüentemente, maior massa de grãos (Tabela 1). Possivelmente, isso foi devido a maior a quantidade (nível médio de P do solo) e proporção de P no grãos (nível alto de P do solo) (Tabelas 3 e 4, respectivamente), além do maior número de grãos verificado nessa cultivar no nível alto de P. Por outro lado a maior massa de grãos, no nível médio dessa cultivar, também foi influenciada por maior proporção colmo/folha e número de afilhos, que possibilitaram maior número de grãos por planta (Tabela 1).

No nível alto de P do solo, as cultivares com maior EUP (URS 21, Barbarasul, FAEM 007, Ouro, Farroupilha e Taura), exceto a FAPA Slava, foram as com maior massa de grãos (Tabela 1), indicando efeito positivo do P mobilizado para o grãos no rendimento. Por outro lado, FAPA Slava teve maior EUP, mas menor massa de grãos e P nessa parte da planta, o que resultou em menor quantidade total de P na Planta (Tabela 3). Já a Afrodite foi única cultivar com menor EUP, no nível alto de P (Tabela 1) e, conseqüentemente, a massa de grãos também foi menor (Tabela 1). Ao contrário das demais cultivares, a Afrodite foi a que mais produziu massa de raiz por quantidade de P absorvido (maior EER, Tabela 5). Isso coincide com o verificado em plantas de trigo que armazenam maior quantidade de P no sistema radicial, e, em geral, são menos produtivas (MANSCHADI et al., 2014).

O efeito intraespecífico dos níveis de P, afetou mais a EUP que os demais índices de eficiência avaliados (Tabela 5). Entre as cultivares testadas, a Afrodite e a Fapa Slava foram as que menos responderam aos níveis de P, embora a Afrodite tenha sido a única a responder em EER. Em geral, observou-se que os índices de eficiência aumentaram quando o nível desse nutriente passou de baixo para médio, mas houve pouca diferença entre esse nível e o alto (Tabela 5). O efeito dos níveis de P no aumento da EUP coincidiu com a maior massa de grãos das cultivares (Tabela 1), o que indica que a melhor utilização desse nutriente pela planta está diretamente ligada a produção de grãos (AMARAL et al., 2012). Por outro lado, a EUP não variou com o aumento do nível de P de médio para alto, exceto na cultivar Ouro (Tabela 5). Contudo, a massa de grãos foi maior no nível alto desse nutriente, indicando que a EUP não foi a única característica da planta que determinou a massa de grãos. Como discutido no item 5.1, no nível de alto de P a produção foi influenciada pela massa da parte aérea e a proporção folha/colmo.

As cultivares Barbarasul, Farroupilha e Taura responderam em ETP e a EAP com o aumento do nível de P do solo (Tabela 5). O maior nível de P do solo, próximo as raízes, aumenta a difusão desse nutriente (EPSTEIN ; BLOOM, 2006) e favorece a aquisição pelas plantas e, conseqüentemente, a translocação para a parte aérea (WEDLING et al., 2016). A maior ETP e EAP dessas cultivares proporcionaram maior quantidade e partição de P na parte aérea (Tabelas 3 e 4) e, conseqüentemente, maior produção de grãos (Tabela 1).

A EER de somente três cultivares foi afetada pelo aumento do nível de P do solo, mas esse efeito variou entre a Afrodite e a Barbarasul e a Taura (Tabela 5). Enquanto que na primeira a EER foi maior com o aumento do nível de P do solo, nas demais o valor dessa variável decresceu. O aumento da EER da Afrodite é explicado devido a maior massa de raiz dessa cultivar, em função do aumento do P do solo (Tabela 2). Esse aumento é uma estratégia conhecida em gramíneas, quando o P é limitante ao seu desenvolvimento (FAGERIA; MOREIRA; SANTOS, 2013). Embora essa estratégia possa ter ocorrido com a Afrodite isso não resultou em aumento do P absorvido, nem em produção de grãos, como mostram alguns estudos, que indicam que a maior massa do sistema radicial não significa maior capacidade de aquisição de P do solo (OLADIRAN et al., 2012;

TRINDADE et al., 2014). Conforme esses autores, para isso, são mais importantes a área de contato da raiz com o solo e o volume dessa parte da planta, características que não variaram na Afrodite com o aumento do P do solo (Tabela 2). Por outro lado, as cultivares FAEM 007 e Farroupilha, no nível baixo de P, e Taura, nos demais níveis de P do solo, tiveram maior EAP e também maior volume e área de raiz (exceto FAEM 007) (Tabela 2) e menor massa de raiz (Tabela 1).

5.4.2 Diagrama de eficiência nutricional

Como definido em vários estudos, as cultivares com maior eficiência nutricional de P (ENP) são aquelas classificadas como eficientes e responsivas (ER), em diagramas de eficiência nutricional (FAGERIA; MOREIRA; SANTOS, 2013; MANSCHADI, 2014; MOREIRA; MORAIS; FAGERIA, 2015; LAMBERS et al., 2016). As cultivares com maiores ENP foram a Barbarasul e a Ouro (Figura 5). No nível baixo de P do solo, a Barbarasul se destacou pelo maior volume e diâmetro do sistema radicial (Tabela 2), o que possibilitou ter maior quantidade de P na raiz, colmo e folha, consequentemente, maior acúmulo total de P na planta (Tabela 3) e, maior EUP (Tabela 5). Já a cultivar Ouro teve maior massa de mil grãos, massa da parte aérea (Tabela 1) e maior acúmulo de P no colmo, folhas e grãos e, consequentemente, maior acúmulo total de P na planta (Tabela 3), possibilitando maior EUP, ETP e EER (Tabela 5).

Ao contrário da Barbarasul e Ouro, no nível baixo de P do solo, as cultivares FAPA Slava, FAEM 007 e Taura não foram classificadas como eficientes e responsivas (Figura 5), embora tenham maior EUP (Tabela 5). Cultivares com maior EUP dependem de outras características, como as morfoagronômicas, o número de grãos e a quantidade de P nos diferentes tecidos da planta, que influenciam a massa de grãos e a resposta dessa ao aumento do P do solo. Assim, a ENP de uma cultivar é melhor identificada utilizando o diagrama de eficiência nutricional (FAGERIA; BALIGAR, 1997; 1999; AMARAL et al., 2012; MOREIRA; MORAIS; FAGERIA, 2015; SANDÃNA, 2016) que um índice isolado de eficiência nutricional, como a EUP.

As cultivares Ouro, Barbarasul, FAEM 007, URS 21 e Farroupilha responderam ao incremento de P do solo e somente três cultivares foram não responsivas (Taura, FAPA Slava e Afrodite). A resposta da cultivar FAEM 007 e da URS 21, possivelmente, pode ser explicada pelo sistema radicial com maior volume e diâmetro, além da maior área de contato das raízes com o solo da última cultivar (Tabela 2). Já a Farroupilha teve maior quantidade de P no colmo e nas folhas, mobilizando menor quantidade de P para o grãos (Tabela 3), mas mesmo assim produziu maior massa de grãos no nível alto de P. Como consequência dessas características, as cultivares Farroupilha e FAEM 007 tiveram maior EAP e ETP (juntamente com maior EUP dessa última cultivar) (Tabela 5), o que possibilitou a responsividade destas cultivares. Já a cultivar Taura foi eficiente, mas não respondeu em produção de grãos, em função do incremento de P do solo do nível baixo para alto. A eficiência dessa cultivar, possivelmente, é explicada pelo sistema radicial com maior aérea, diâmetro e volume (Tabela 2), o que possibilitou maior EUP, EAP e EER (Tabela 5). Por outro lado, essa cultivar não respondeu a adubação, possivelmente, por produzir grãos com baixa quantidade de P na parte aérea (Tabela 3), devido a maior capacidade de mobilizar esse nutriente para o grãos (Tabela 4) e a maior EUP dessa cultivar (Tabela 5).

Os resultados indicaram que diferentes estratégias das cultivares avaliadas, em relação ao nível de P do solo e a expressão do potencial produtivo, como relatada para a cultura da batata (MARCANTE et al., 2016; SANDÃANA, 2016). Essa diferença de estratégia das cultivares resultou em diferentes ENP. Entre os atributos morfoagronômicos avaliados, em geral, as cultivares com maior ENP foram semelhantes quanto a maior área e/ou maior volume do sistema radicial, maior quantidade de P nos tecidos da parte aérea, como constatado em outras espécies (FAGERIA; BALIGAR, 1997; 1999; WANG; SHEN; LIAO, 2010; SANDÃANA, 2016).

Como constatado com a eficiência das cultivares em produzir grãos, no nível baixo de P, as cultivares com maior responsividade ao incremento desse nutriente no solo (URS 21, FAEM 007, Ouro, Barbarasul e Farroupilha; Figura 5), não necessariamente incluíram aquelas com maior EUP, no nível alto de P do solo (Tabela 5). Como consta nessa tabela, a EUP da FAPA Slava, e da Taura não diferiu das cultivares classificadas

como eficientes e responsivas. Assim, a EUP não pode ser utilizada de forma isolada, para caracterizar a responsividade das cultivares avaliadas.

No nível alto de P do solo, as cultivares responsivas (Figura 5) foram as com maior rendimento de grãos (Tabela 1), enquanto que as cultivares não eficientes foram as com menor rendimento de grãos, com exceção da Taura, cujo rendimento foi intermediário. Isso indica que o diagrama de eficiência nutricional estimou razoavelmente bem a eficiência e a responsividade das cultivares avaliadas, como relatados em outros trabalhos (CIAT, 1978; FOX, 1978; FAGERIA ; BALIGAR, 1997; 1999; AMARAL et al., 2012; SAUSEN, 2016).

5 CONCLUSÕES

As cultivares de aveia-branca avaliadas diferem quanto à eficiência nutricional ao P. Barbarasul e Ouro são eficientes e respondem a adubação com esse nutriente. Elas são as mais indicadas para a produção de grãos, em solos com menor disponibilidade de P, já que a massa de grãos não diminui nessa condição. Elas também são indicadas em solos com nível de P corrigido. Essas cultivares se destacaram pela maior EUP e isso foi devido ao acúmulo de P na parte aérea (principalmente no grãos), em relação ao sistema radicial, possibilitando maior massa de grãos. A cultivar Taura também é eficiente em produzir grãos em solos com P baixo, mas não responde a adubação com esse nutriente, comparativamente à resposta média obtida com as demais cultivares avaliadas. Essa cultivar, portanto, é mais econômica que a Barbarasul e Ouro. As cultivares FAPA Slava e Afrodite também não respondem a adubação fosfática, mas diferente da Barbarasul, Ouro e Taura, elas não são eficientes, isto é, produzem menos grãos, em solo com baixo nível desse nutriente. Por isso, essas duas cultivares tem a menor ENP, entre as cultivares avaliadas. As cultivares com maior eficiência nutricional demonstraram maior massa de parte aérea e grão e maior quantidade de P nessas partes da planta. Já as cultivares URS 21, FAEM 007 e Farroupilha somente produzem mais grãos, comparativamente ao grupo de cultivares avaliadas, em solo com alto nível de P, isto é, são responsivas a adubação com esse nutriente, mas não são eficientes em adquirir e usar o P disponível no solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as variáveis avaliadas no estudo em estufa, a principal característica que diferenciou as cultivares quanto à ENP do solo foi a massa da parte aérea, que, por sua vez, é produzida em função do acúmulo de P na folha e no colmo. Assim, as cultivares com maior acúmulo desse nutriente e de massa seca nessas partes da planta foram as com maior ENP. Essas características, aliadas a algum componente de rendimento de grãos de destaque, como a maior massa de mil grãos e/ou maior número de grãos, estiverem presentes nas cultivares com maior ENP. Assim, o diagrama de eficiência nutricional, que classifica as cultivares eficientes com base no rendimento de grãos; e a responsividade, com base no índice de resposta a níveis de P; remete com muita similaridade a eficiência em utilizar o P disponível no solo e a responsividade das cultivares aos níveis de P do solo, quando comparado a massa de grãos produzida nessa condição de P do solo.

Para trabalhos futuros sugere-se estudo em estufa com diferentes capacidades de vaso e níveis de P no solo, a fim de comparar a influência da água na aquisição do P e conseqüentemente influência na eficiência nutricional de P. Esse trabalho futuro também possibilita verificar se a estrutura do sistema radicial obtido nas condições estudadas seria o mesmo quando submetido a diferentes quantidades de água no solo.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. C.; KIST, V. Composição da espigueta de aveia branca (*Avena sativa* L.) **Revista Brasileira Agrociência**, v. 16, n. 1, p. 29-33, 2010.

AMARAL, J. F. T.; MARTINS, L. D.; LAVIOLA, B. G.; CHRISTRO, L. F.; TOMAZ, M. A.; RODRIGUES, W. N. A differential response of physic nut genotypes regarding phosphorus absorption and utilization is evidenced by a comprehensive nutrition efficiency analysis. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 3, p. 24-36, 2012.

BALIGAR, V. C.; MOREIRA, A.; PORTES, T. A. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 5, p. 2167-2181, 2010.

BALMFORD, A.; GREEN, R.; SCHARLEMANN, J. P. W. Springing land for nature: exploring the potential impact of changes in agricultural yield on the area needed for crop production. **Global Change Biology**, v. 11, n. 8, p. 1594-1605, 2005.

BONA, F.D.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SOUSA, R. O.; SILVA, L. S. S.; GATIBONI, L. C. In. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO- RS/ SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed., Frederico Westphalen: SBCS-NRS, 2016. p. 101-134.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Comissão de Agricultura e Política Rural. **A Lei de Proteção de Cultivares: análise de sua formulação e conteúdo**. Relator: José Cordeiro de Araújo 2010. 128 p.

CECCON, G.; FILHO, H. G.; BICUDO, S. J. Rendimento de grãos de aveia branca (*Avena sativa* L.) em densidades de plantas e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 34, n. 11, p. 1723-1729, 2004.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Programa de frijol**. Colombia: CIAT, 1977-1978. p.13.

CHIN, J.; GAMUYAO, R.; BUSTAMAM, M.; WISSUWA, M.; HEUER, S. Developing Rice with high yield under phosphorus deficiency: Pup1 sequence to application. **Plant Physiology**, v. 156, n. 23, p. 1202-1216, 2011.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Indicações técnicas para a cultura da aveia**. Passo Fundo: UPF, 2014.136 p.

CORDELL, D. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, 2009. 305 p.

DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency- measurement and management. **General principles of FBMPs**, v. 1, n. 1, p. 1-28, 2007.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas principios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006, 401 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR V. C. Phosphorus-use efficiency by corn genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 7, p. 1267–1277, 1997.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR V. C. Phosphorus-use efficiency by rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1242-1248, 1999.

FAGERIA N. K.; BALIGAR, V. C.; MOREIRA, A. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 12, p. 2167–2181, 2010.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; CASTRO, C. Response of soybean to phosphorus fertilization in Brazilian Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 9, p. 2716-2723, 2011.

FAGERIA N. K.; MOREIRA A.; SANTOS A. B. Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36 n. 13, p. 2013-2022, 2013.

FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; MORAES, M. F. Root growth, nutrient uptake and use efficiency by roots of tropical regume cover crops as influenced by phosphorus fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 36, p. 555-569, 2014.

FAO. **Sistema FAOSTAT**. Disponível: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 02 de março 2017.

FLYNN, H. C.; SMITH, P. Greenhouse gas budgets of crop production – current and likely future trends. **International Fertiliser Industry Association**. Paris. 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2164/1275>>. Acesso em: 12 de 2017.

FONTANELI, R.S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; LAMPERT, E. A. Rendimento de grãos de aveia branca em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 790-796, 2012a.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira, 2^a edição. Passo Fundo: Embrapa, 2012b. p. 1-541.

FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9, n. 4, p.13-37, 1978.

GATIBONI, L. C.; SILVA, L. S.; ANGHINONI, I. In. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO- RS/ SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11^a. ed. Frederico Westphalen: SBCS-NRS, 2016. p. 135-154.

GONDIM, A. R. O.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; FONCESA, I. M. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido á omissão de macronutrients em solução nutritive. **Ceres**, v. 57, n. 42, p. 539-544, 2014.

GUIMARÃES, P. R.; AMBROSINI, G. V.; MIOTTO, A.; CERETTA, C. A.; SIMÃO, G. D. Brune black oat (*Avena strigosa* Schreb.) growth and root anatomical changes in sandy soil with different copper and phosphorus concentrations, **Water Air Soil Pollution** v. 227, n. 156, p. 192-196, 2016.

HALING, R. E.; YANG A. Z.; SHADWELL, N. A.; CULVENOR, A. R.; STEFANSKI, A.; RYAN, M. H.; SANDRAL, C. G. A.; DANIEL R. KIDD, D. R.; HANS LAMBERS, H.; SIMPSON, R. J. Root morphological traits that determine phosphorus-acquisition efficiency and critical external phosphorus requirement in pasture species. **Functional Plant Biology**, v. 10, n. 178, p. 16037-16042, 2016.

HAMMOND, J. P.; BROADLY, M. R.; WHITE, P. J. Genetic responses to phosphorus deficiency. **Annals of Botany**, v. 94, n. 31, p. 323-332, 2004.

HERVÉ, C. B.; CALAI, F. A.; NAVA, I. C.; DELATORRE, C. A. Tolerância ao alumínio tóxico em germoplasma brasileiro elite de aveia, **Ciência Rural**, v. 43, n. 13, p. 1364-1370, 2013.

JEFFERY, R. P.; SIMPSON, R. J.; LAMBERS, H.; KIDD, D. R.; RYAN, M. H. Root morphology acclimation to phosphorus supply by six cultivars of *Trifolium subterraneum* L. **Plant Soil**, v. 1007, n. 75, p. 11104-2869, 2016.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koog, 2008. 431 p.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 2. ed. Passo Fundo: editora UPF, 2012. 240 p.

KREMER, D. I. M.; MAROLLI, A.; ROMITTI, M. V.; UBESSI, C.; ARENHARDT, E. G.; PINTO, F. B.; MAZURKIEVICZ, G.; GAVIRAGHI, J.; SBERSE, V. L.; GEWEHR, E.; SILVA J. A. G. Relação colmo/folha e percentual de folha nos genótipos de aveia direcionados a produção de forragem. In: **XXXIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa De Aveia**, Anais... Pelotas: UFPel, 2013.

KUINCHTNER, A.; BURIAL, G.A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia. Série Ciências Exatas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LAMBERS H.; TESTE F. P. Interactions between arbuscular mycorrhizal and nonmycorrhizal plants: do non-mycorrhizal species at both extremes of nutrient availability play the same. **Plant Cell Environment**, v. 36, n. 19, 2013.

LAMBERS, H.; MARTINOIA, E.; RENTON, M. Plant adaptations to severely phosphorus-impooverished soils. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 25, n. 12, p. 23-31, 2015.

LAMBERS H.; RAVEN J. A.; SHAVER G. R.; SMITH S. E. Plant nutrient- manganese accumulation and phosphorus-acquisition strategies change with soil age. **Trends Plant Science**, v. 20, n. 7, p. 83-90, 2016.

LÂNGARO, N. C.; FEDERIZZI, L. C.; OLIVEIRA, A. C.; RIDE, C. R.; ALMEIDA, J. L.; FONTANELLI, R. S. In. COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Indicações técnicas para a cultura da aveia**. Passo Fundo: Editora UPF, 2014, p. 24-43.

LI, B.; MCKEAND, S.E.; ALLEN, H.L.; Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 16, p. 613-626, 1991.

LYNCH, J. P. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. **Plant Physiology**, v. 156, n. 67, p. 1041-1049, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MANSCHADI, A. M.; KAUL, H.-P.; VOLLMANN, J.; EITZINGER, J.; WENZEL, W.; Reprint of developing phosphorus-efficient crop varieties an interdisciplinary research framework. **Field Crops Research**, v. 165, n. 76, p. 49–60, 2014.

MARCANTE, N. C.; MUROAKA T.; BRUNO I. P.; CAMACHO M. A. Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 47, p. 239-247, 2016.

MELO, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUN, H.; SANTOS, M. M.; COIMBRA, R. R.; SILVA, R. R.; REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 14, p. 411-420, 2011.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; FAGERIA, N. K. Variability on yield, nutritional status, soil fertility, and potassium-use efficiency by soybean cultivar in acidic soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n. 23, p. 2490–2508, 2015.

NAKAGAWA, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; ZUCARELLI, C. Teores de nutrientes na folha e nos grão de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, v.64, n. 24, p.441-445, 2005.

NAKAGAWA, J.; ROSELEM, C. A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, v. 64, n. 28, p. 441-445, 2009.

NETO, F. R.; MIRANDA, G. V.; LIMA, R. O. DE; SOUZA, L. V. S; SILVA, J. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 465-471, 2010.

OLADIRAN, O.; OLAJIRE, F.; ROBERT, C. A.; NNENNA, I. Phosphorus response efficiency in cowpea genotypes. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 1, p. 81-90, 2012.

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 732-740, 2016.

PRADO R. M.; ROMUALDO, L. M.; VALE, D. W. Resposta da aveia preta à aplicação de fósforo sob duas doses de nitrogênio em condições de casa-de-vegetação. **Acta Science Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 527-533, 2006.

RAKSHIT, A.; KUMARI, S.; PAL, S.; SINGH, A.; SINGH, H.B. Bio-priming mediated nutrient use efficiency of crop species. **Basics Advance**, v. 23, n. 12, p. 181-191, 2015.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. **Field Crops Research**, v. 117, n. 43, p. 169-176, 2010.

RICHART, A.; KAEFER, J. E.; DAGA, J.; NOZAKI, M. H.; MENON, R. Desempenho do trigo em resposta a aplicação de termosfosfato. **Synergimus Scyentifica UTFPR**, v. 1, n. 4. p. 34-39, 2009.

RODRIGUES F.; MAGALHÃES J. V.; GUIMARÃES C. T.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Seleção de linhagens de sorgo granífero eficientes e responsivas à aplicação de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 613-621, 2014.

ROSSET, J. S.; GUARESCHI, R. F.; SILVA, L. A.; PINTO, R.; PEREIRA, M. G.; SEMINA, M. do C. L. Phosphorus fractions and correlation with soil attributes in a chronosequence of agricultural under no-ti. **Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3915-3926, 2016.

RUARK, M. D.; KELLING, K. A.; GOOD, L. W. Environmental concern of phosphorus management in potato production. **American Journal of Potato Reseach**. v. 45, n. 91, p. 132–144, 2014.

SANDÃANA, P. Phosphorus uptake and utilization efficiency in response to potato genotype and phosphorus availability, **European Journal of Agronomy**, v. 76, n. 146, p. 95-106, 2016.

SAUSEN, D. **Eficiência nutricional ao fósforo de clones de batata**, 2016. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 34, p. 289-302, 1981.

SHENOY, V. V.; KALAGUDI, G. M. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. **Biotechnology Advances**, v. 23 p. 501-513, 2006.

SCHROEDER, M. S; JANOS, D. P. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. **Mycorrhiza**, v. 15, n. 56, p. 203–216, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Fertilidade do solo**, 1 ed. Viçosa: editora SBCS, 2007. 1016 p.

SILVA, T. O.; NETO, A. E. F.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SILVA, A.; BRUNO, I. P.; FRANZINI, V. I.; MARCANTE, N. C.; BENITIZ, L.; MURAOK, T. Phosphorus uptake efficiency, root morphology and architecture in Brazilian wheat cultivars. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 305, n. 4, p. 231, 2015.

SILVA, D. A.; ESTEVES, J. A. F.; GONCALVES, J. G. R.; AZEVEDO, C. V. G.; RIBEIRO, T.; CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M. Avaliação de genótipos de feijoeiro quanto à eficiência do uso do fósforo em Latossolo Vermelho Eutrófico. **Bragantia**, v. 211, p. 213-128, 2016.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A.C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.32, n. 12, p.715-725, 2008.

SWIADER, J.M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F.G.; Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Artmed, 2017, p.811.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, T.; BISSANI, H, C; BOHNEN A. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ed.Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

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 de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1170-1180, 2014.

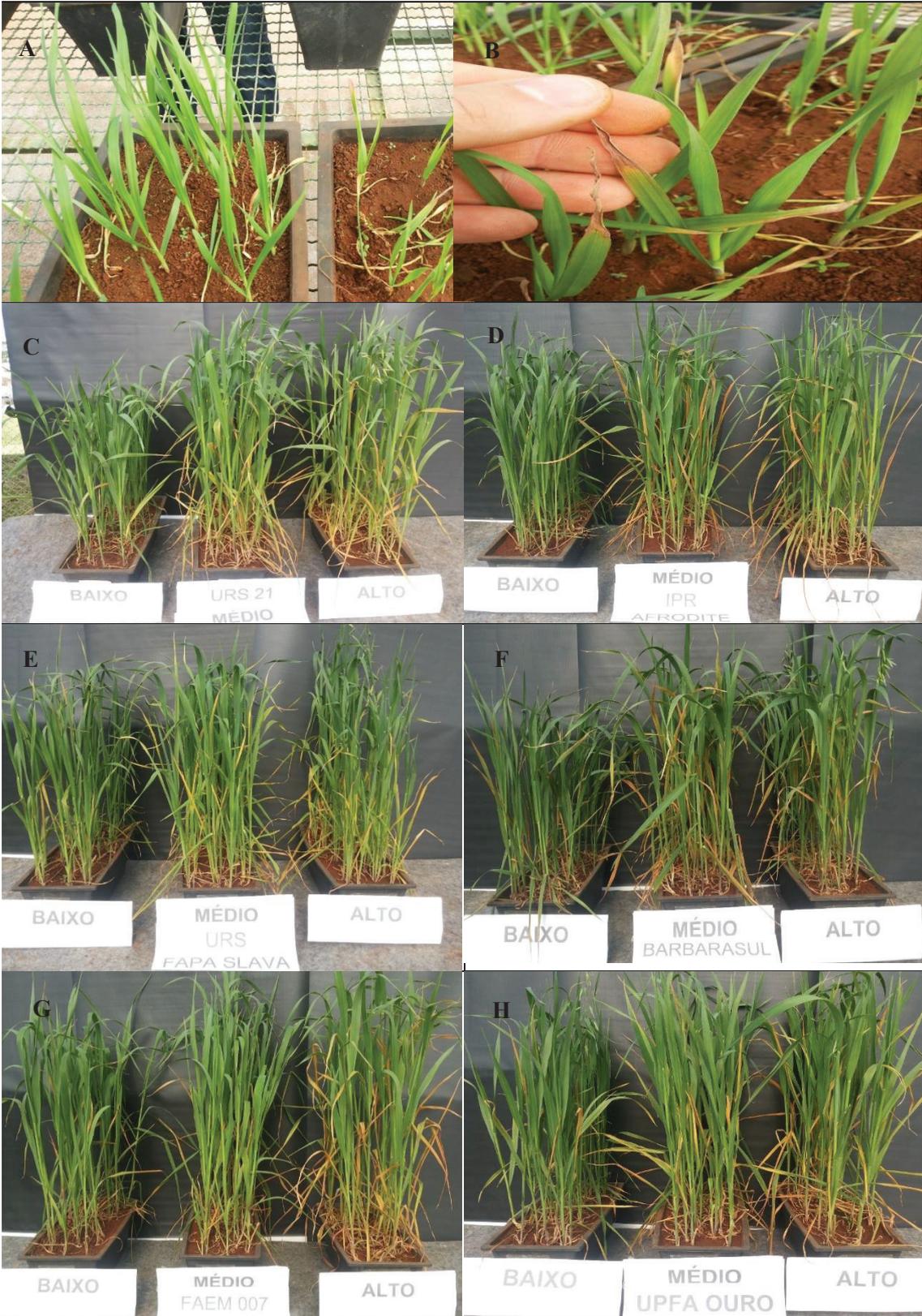
WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**, v. 179, n. 76, p. 302-306, 2010.

WENDLING, M.; BÜCHI, L.; AMOSSÉ, C.; SINAJ, S.; WALTER, A.; CHARLES, R. Influence of root and leaf traits on the uptake of nutrients in cover crops. **Plant and Soil**, v. 1007, p. 1104-2974, 2016.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.

APÊNDICES

Apêndice I (A) Folhas de aveia-branca (Cultivar Taura) sem (vaso do lado esquerdo) e (direito) com sintoma de deficiência de fósforo. (B) Folhas de aveia-branca (cultivar Taura) com sintoma de deficiência de fósforo. (C, D, E, F, G, H) Estatura da parte aérea das cultivares de aveia-branca, em Latossolo Vermelho com fósforo baixo, médio e alto do solo. Passo Fundo, RS, 2015.



Apêndice II (I, J) Estatura da parte aérea das cultivares de aveia-branca, em Latossolo Vermelho com fósforo baixo, médio e alto do solo. Passo Fundo, RS, 2015.



Apêndice III Valores médios, mínimos e máximos dos intervalos de variação de fósforo do solo dos níveis baixo, médio e alto. Passo Fundo, RS, 2015.

P	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura	Média
	Média do P solo								
	0,11	0,07	0,06	0,10	0,11	0,11	0,11	0,08	0,09
	Valores mínimos dos intervalos de P do solo								
	0,12	0,07	0,06	0,10	0,11	0,12	0,11	0,08	0,10
	Valores máximos dos intervalos de P do solo								
	0,11	0,06	0,06	0,09	0,10	0,10	0,10	0,08	0,09

Apêndice IV Nível de fósforo (P) em partes da planta de cultivares de aveia-branca, em função dos níveis desse nutriente do solo. Passo Fundo, RS, 2015.

Nível de fósforo	Cultivar								
	URS 21	Afrodite	FAPA Slava	Barbarasul	FAEM 007	Ouro	Farroupilha	Taura	
Fósforo da raiz (g / kg)									
Baixo ¹	A 1,40 a	C 1,22 c	C 1,03 b	A 1,48 b	C 1,07 c	B 1,24 c	B 1,22 b	C 1,05 c	
Médio ²	C 1,10 b	B 1,31 b	B 1,39 a	B 1,34 c	B 1,33 b	A 1,51 b	A 1,47 a	C 1,14 b	
Alto ³	C 1,46 a	B 1,58 a	D 1,33 a	A 1,82 a	B 1,67 a	B 1,63 a	C 1,43 a	C 1,45 a	
C.V. (%)	5,67	6,43	3,32	6,87	6,51	9,58	5,87	9,12	
Fósforo da folha (g / kg)									
Baixo	A 3,11 a	C 2,46 c	C 2,28 b	A 3,26 b	A 2,36 c	B 2,73 c	B 2,69 b	C 2,31 c	
Médio	C 2,43 b	B 2,88 b	B 3,06 a	B 2,96 c	B 2,93 b	A 3,32 b	A 3,24 a	C 2,50 b	
Alto	C 3,22 a	B 3,49 a	D 2,93 a	A 4,02 a	B 3,68 a	B 3,58 a	C 3,16 a	C 3,20 a	
C.V. (%)	1,99	4,76	2,97	7,74	4,33	5,98	4,76	5,82	
Fósforo do colmo (g / kg)									
Baixo	1,16	1,21	1,18	1,2	1,22	1,18	1,19	1,15	Média 1,19 b
Médio	1,25	1,26	1,15	1,13	1,18	1,22	1,21	1,17	1,20 b
Alto	1,25	1,44	1,3	1,29	1,21	1,31	1,45	1,17	1,30 a
Média	B 1,22	A 1,31	B 1,21	B 1,21	B 1,20	B 1,24	A 1,28	B 1,19	
C.V. (%)	7,98	9,34	8,06	9,76	8,97	7,37	7,52	7,38	
Fósforo do grãos (g / kg)									
Baixo	3,61	3,08	3,52	3,42	3,8	3,38	3,43	3,48	Média 3,47 b
Médio	3,48	3,57	3,67	3,68	3,51	3,51	3,58	3,58	3,57 b
Alto	4,12	4,11	3,73	3,91	3,78	4,36	4,37	4,06	4,06 a
Média	^{NS} 3,47	3,59	3,64	3,67	3,70	3,75	3,80	3,71	
C.V. (%)	11,83	11,38	12,12	13,29	11,92	11,22	11,83	12,38	

¹ Nível baixo (0,7 a 3,7 mg/kg). ² Nível médio (3,8 a 7,8 mg/kg). ³ Nível alto (7,8 a 11,4 mg/kg) Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott knott ($p > 0,05$). Letras maiúsculas comparam médias na linha, e letras minúsculas na coluna. C.V.: Coeficiente de variação, NS e ns: não significativo.



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV