

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO DE BETA-GLICANA EM GENÓTIPOS  
BRASILEIROS DE AVEIA BRANCA EM DIFERENTES AMBIENTES

Martim Fogaça Severo  
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Ênfase Melhoramento e Biotecnologia Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil  
Julho de 2012

### CIP - Catalogação na Publicação

Severo, Martim

Caracterização do conteúdo de beta-glicana em genótipos brasileiros de aveia branca em diferentes ambientes / Martim Severo. -- 2012.

75 f.

Orientador: Marcelo Teixeira Pacheco.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. beta-glicana. 2. melhoramento genético. 3. aveia branca. I. Teixeira Pacheco, Marcelo, orient.  
II. Título.

MARTIM FOGAÇA SEVERO  
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

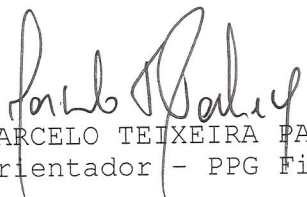
## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de


### **MESTRE EM FITOTECNIA**

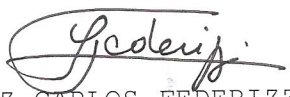
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil


Aprovado em: 20.07.2012  
Pela Banca Examinadora

  
MARCELO TEIXEIRA PACHECO  
Orientador - PPG Fitotecnia


Homologado em: 13 NOV 2012  
Por

  
GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

  
LUIZ CARLOS FEDERIZZI  
PPG Fitotecnia

  
ITAMAR CRISTIANO NAVA  
Dep. Plantas de Lavoura  
Faculdade de Agronomia/UFRGS

  
ANA BEATRIZ LOCATELLI  
Pioneer Brasil

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer aos meus pais, Jorge Luiz Paiva Severo e Heloisa Fogaça Severo, pelo apoio na decisão de realizar o mestrado e o incentivo em todos os momentos que passamos juntos durante o mesmo. Aos Professores Marcelo Teixeira Pacheco e Luiz Carlos Federizzi pela oportunidade de ter sido bolsista de iniciação científica junto ao Programa de Melhoramento de Aveia Branca da UFRGS, atividade que me incentivou a cursar o mestrado, e pela orientação e amizade durante os anos que trabalhamos juntos. Aos colegas do departamento de Plantas de lavoura e do PPG Fitotecnia pela amizade e companhia durante os anos do mestrado. A minha namorada, Thamiris Fenalti Delgado, pelo apoio e pela companhia, assim como por entender momentos distantes por conta das atividades do mestrado. A empresa Dupont Pioneer pela oportunidade de trabalho. Aos colegas de empresa pela amizade e pelo incentivo no período final do mestrado.

# CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO DE BETA-GLICANA EM GENÓTIPOS BRASILEIROS DE AVEIA BRANCA EM DIFERENTES AMBIENTES<sup>1</sup>

Autor: Martim Fogaça Severo

Orientador: Marcelo Teixeira Pacheco

## RESUMO

A beta glicana, [(1→3)(1→4)-β-D-glicana] é um dos componentes das paredes celulares dos cereais, sendo o principal constituinte da fibra solúvel em aveia branca (*Avena sativa* L.). Suas características funcionais trazem benefícios para pessoas que realizam uma dieta rica em beta-glicanas, como redução do colesterol, diminuição do teor de glicose e insulina no sangue, prevenção de câncer do cólon do intestino e prevenção de doenças cardíacas. Desta forma, o melhoramento genético tem buscado selecionar genótipos de aveia com maior conteúdo de beta-glicana e com expressão estável nos ambientes de cultivo. Este trabalho teve como objetivo caracterizar genótipos brasileiros de aveia branca quanto ao conteúdo de beta-glicana nos grãos e quanto à estabilidade deste em diferentes ambientes. Em 2010 e 2011 15 genótipos de aveia, desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento de Aveia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), foram avaliados em seis ambientes, constituídos por locais e épocas de cultivo diferentes, a fim de caracterizar o conteúdo de beta-glicanas e outras características químicas e físicas dos grãos. Os resultados mostraram que o conteúdo de beta-glicana é muito semelhante entre os genótipos da UFRGS analisados, porém sofrendo influência do ambiente de cultivo. Correlações positivas foram encontradas entre o teor de beta-glicana e características como o conteúdo de carboidratos e o comprimento do grão. Correlações negativas foram verificadas com características como peso do hectolitro, dias da emergência ao florescimento, conteúdo de proteínas, conteúdo de lipídios e circularidade dos grãos. As associações entre conteúdo de beta-glicanas e os diferentes caracteres agrônômicos e de grão avaliados variaram de acordo com o ambiente de teste. A análise da interação genótipo x ambiente indicou que a maioria dos genótipos aumentam o conteúdo de beta-glicanas quando o ambiente favorece a expressão de maior conteúdo destas fibras, embora tenham sido observados genótipos em que essa característica é pouco influenciada pelas mudanças do ambiente.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (75 p.) Julho, 2012.

# CARACTERIZATION OF BETA-GLUCAN CONTENT ON OAT BRAZILIAN GENOTYPES UNDER DIFFERENT ENVIROMENTS<sup>1</sup>

Author: Martim Fogaça Severo

Adviser: Marcelo Teixeira Pacheco

## ABSTRACT

The beta glucan, [(1 → 3) (1 → 4)-β-D-glucan] is a component of cell walls of cereals and the main constituent of the soluble fiber in oats (*Avena sativa* L.). Beta glucans have functional proprieties, associated with health benefits in human under a diet rich in this dietary fiber, such as reduction of serum cholesterol levels, decrease in glucose and insulin levels, prevention of colon cancer and heart diseases prevention. Therefore, nowadays several oat breeding programs, in the world, are seeking to select oat genotypes expressing higher beta-glucan content in their grains, stably across environments. This study aimed to characterize Brazilian oat genotypes for the content of beta-glucan in the grains and the stability of this trait under different environments. In 2010 and 2011 15 oat genotypes, developed by the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) Oat Breeding Program, were evaluated in six environments, consisting of different locations and sowing dates, in order to characterize their grain beta-glucan content of and other chemical and physical characteristics of the grains. The results showed that the content of beta-glucan is very similar in genotypes evaluated, although under environmental influence. Positive correlations were found between grain beta-glucan content and grain carbohydrate content, as well as to grain length. Negative correlations were found with traits such as test weight, days from emergence to flowering, grain protein content, grain lipid content and roundness of the grains. The associations found between grain beta-glucan content and other grain and agronomic characteristics varied according to the test environment. Analysis of genotype x environment interaction indicated that, for most of the genotypes evaluated, an improvement of the environment, i.e. environments more conducive for higher beta-glucan content, resulted in an increasing of the beta-glucan content in their grains, even though there were a few genotypes in which this characteristic was less influenced by environmental changes.

---

<sup>1</sup> Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (75 p.) June, 2012.

## SUMÁRIO

|  | Página |
|--|--------|
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 1      |
| 1.1 Hipóteses.....   | 3      |
| 1.2 Objetivos.....   | 4      |
| 1.2.1 Objetivo geral.....  | 4      |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....   | 4      |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 5      |
| 2.1 Origem e caracterização botânica da aveia branca.....  | 5      |
| 2.2 Produção e uso da aveia branca.....  | 6      |
| 2.3 Melhoramento genético da aveia branca na UFRGS.....  | 9      |
| 2.4 Beta-glicana.....  | 11     |
| 2.4.1 Caracterização das beta-glicana.....   | 11     |
| 2.4.2 Efeito das Beta-glicana sobre a saúde humana.....  | 13     |
| 2.4.3 Controle genético da síntese e conteúdo de beta-glicana nos grãos.....   | 16     |
| 2.4.4 Associação entre o conteúdo de beta-glicana e caracteres agronômicos.....  | 19     |
| 2.4.5 Conteúdo de beta-glicana nos grãos e a interação genótipo x ambiente.....  | 21     |
| 2.4.6 Determinação do conteúdo de beta-glicana nos grãos.....  | 23     |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 25     |
| 3.1 Material genético.....   | 26     |
| 3.2 Instalação dos experimentos a campo.....   | 26     |
| 3.3 Avaliações realizadas.....   | 27     |
| 4 RESULTADOS.....  | 31     |
| 4.1 Características agronômicas, nutricionais e de formato dos grãos nos diferentes ambientes.....                               | 31     |
| 4.2 Associações entre caracteres agronômicos, químicos e físicos dos grãos.....  | 38     |
| 4.3 Análise da estabilidade da expressão do conteúdo de beta-glicana dos grãos.....  | 44     |
| 4.4 Análise da expressão do conteúdo de beta-glicana e de outros componentes nutricionais dos grãos em diferentes ambientes..... | 48     |
| 5 DISCUSSÃO.....   | 56     |
| 6 CONCLUSÕES.....  | 67     |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 69     |
| 8 VITA.....  | 76     |

## RELAÇÃO DE TABELAS

|  | Página |
|--|--------|
| 1. Genótipos utilizados nos diferentes ambientes.....  | 26     |
| 2. Médias das características agronômicas nos diferentes ambientes. ....   | 34     |
| 3. Médias das características de formato dos grãos por ambiente de teste.....  | 36     |
| 4. Médias do conteúdo de caracteres nutricionais dos grãos. ....   | 38     |
| 5. Análise da regressão linear múltipla entre o conteúdo de beta-glicana dos grãos e os diferentes caracteres agronômicos, químicos e físicos dos grãos..... | 43     |
| 6. Parâmetros de estabilidade da expressão do conteúdo de beta-glicana em diferentes genótipos de aveia. ....  | 46     |
| 7. Análise da variância do conteúdo de beta-glicana dos grãos. ....  | 48     |
| 8. Conteúdo de beta-glicana nos grãos de aveia em diferentes genótipos e ambientes de teste.....   | 51     |
| 9. Análise da variância do conteúdo de beta-glicana dos grãos considerando somente os ambientes de Eldorado do Sul.....                                      | 52     |



## RELAÇÃO DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| 1. Estrutura química da beta-glicana com ligações $\beta$ (1 $\rightarrow$ 3) e $\beta$ (1 $\rightarrow$ 4)....                        | 11     |
| 2. Médias das características agronômicas nos diferentes ambientes...  | 34     |
| 3. Médias das características de formato dos grãos nos diferentes ambientes...   | 35     |
| 4. Médias das características espaciais dos grãos nos diferentes ambientes .....   | 35     |
| 5. Média das características nutricionais dos grãos nos diferentes ambientes .....   | 37     |
| 6. Regressões múltiplas entre o conteúdo de beta-glicana e as características explicativas significativas por ambientes de teste.....  | 42     |
| 7. Análises da estabilidade do conteúdo de beta-glicana dos grãos em diferentes genótipos de aveia, testados em diferentes ambientes.. | 45     |
| 8. Conteúdo médio de beta-glicana de cada genótipo avaliado na média dos seis ambientes de teste.....                                  | 49     |
| 9. Conteúdo médio de beta-glicana em cada ambientes de teste.....  | 50     |
| 10. Conteúdo médio de beta-glicana nos ambientes de Eldorado do Sul.....   | 53     |
| 11. Conteúdo médio de beta-glicana em Eldorado do Sul nos anos de 2010 e 2011 .....  | 54     |
| 12. Conteúdo médio de beta-glicana em Eldorado do Sul para as duas épocas de plantio.....  | 55     |

## RELAÇÃO DE QUADROS

|   | Página |
|---|--------|
| 1. Correlações de Pearson entre as características avaliadas..... | 40     |

## 1 INTRODUÇÃO

No sul e sudeste do Brasil a aveia branca (*Avena sativa* L.) é utilizada como uma cultura produtora de grãos, forragem, silagem e biomassa de cobertura do solo. O Brasil tornou-se autossuficiente na produção de grãos deste cereal graças ao aumento da área cultivada de aveia, que passou a ser expressiva a partir do início dos anos 1990. A cultura foi trazida pelos espanhóis com a finalidade de alimentar seus rebanhos. Atualmente, a aveia branca é uma importante opção de cultivo de inverno/primavera, pela elevada produtividade e menor investimento de implantação e condução da lavoura, comparada com outros cultivos de grãos. Desta forma, tem-se destacado como opção aos produtores rurais, que buscam implantar um adequado sistema de rotação de culturas proporcionando um incremento de palha no solo.

No Brasil, a produção de grãos com as características necessárias para atender a indústria de beneficiamento, para alimentação humana, foi somente possível com o desenvolvimento de cultivares adaptadas para o sul do Brasil, com alta qualidade física de grãos, principalmente a partir de meados da década de 1990. O Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS, iniciado em 1974, teve participação decisiva neste processo, sendo atualmente o líder de mercado, em termos da utilização de suas cultivares de aveia, tanto pela indústria como pelos agricultores. Até o início da década de 1980 as variedades cultivadas eram provenientes dos EUA e Argentina, que por sua vez eram cultivares pouco adaptadas as condições climáticas e ambientais da região de cultivo.

A aveia branca destaca-se por uma composição química exclusiva dos seus grãos, ou seja, que nenhum outro cereal possui, fazendo com que ela seja um importante cereal na alimentação humana. Os grãos de aveia possuem elevado valor nutritivo, principalmente pelo elevado teor de proteínas, com perfil diferenciado de aminoácidos, elevado teor de fibras solúveis, assim como pelo perfil de ácidos graxos, com alta proporção de óleos insaturados. Um dos componentes mais importantes da fibra solúvel dos grãos de aveia branca é formado pela beta-glicana. O consumo de aveia na dieta tem sido associado com a redução do teor de colesterol sérico em humanos, e consequente diminuição dos riscos de enfermidades cardiovasculares. Esse efeito parece ser devido, principalmente, a fração de beta-glicana presente nos grãos. Devido aos benefícios à saúde humana, foi conferido à aveia a condição de alimento funcional.

A beta-glicana constitui um grupo de polissacarídeos com ligação glicosídicas do tipo beta [(1→3)(1→4)-β-D-glicana]. Em plantas, a beta-glicana ocorre somente em gramíneas, sendo que os maiores níveis nos grãos são conhecidos em cevada e aveia. A beta-glicana possui frações solúvel e insolúvel em água, sendo que nos grãos de aveia são encontradas nas paredes celulares das células da camada de aleurona e em células do endosperma, em níveis variáveis, dependendo do genótipo.

Devido à funcionalidade dos grãos de aveia, há demanda, por parte da indústria processadora de aveia, por cultivares de aveia com maior conteúdo de beta-glicana nos grãos. Assim como o uso de cultivares de aveia com alto conteúdo de beta-glicana para enriquecer outros alimentos com este nutriente. Apesar de haver um forte componente genético na determinação do conteúdo de beta-glicana, há também um forte componente ambiental, o que pode tornar a seleção de cultivares com maior conteúdo de beta-glicana nos grãos bastante difícil. A interação genótipo x ambiente sobre esse caráter é ainda pouco estudada para as condições ambientais do sul do Brasil e em genótipos brasileiros de aveia branca. Portanto, há necessidade de compreender melhor como o ambiente afeta o

conteúdo de beta-glicana dos grãos, assim como entender sua possível associação com caracteres químicos e físicos dos grãos.

A associação entre a beta-glicana e outros caracteres nutricionais também vem sendo investigada, mas os resultados apresentados não são consistentes e variam entre os diversos estudos investigados. As correlações não são uma regra, portanto conclusões quanto à seleção de múltiplas características nutricionais ainda são precoces e devem ser mais estudadas.

Não existem estudos procurando associar a variação do conteúdo de beta-glicana com características de formato e tamanho dos grãos. Existe a possibilidade de que o formato dos grãos influencie no conteúdo de beta-glicana, uma vez que, em aveia, a maior parte da beta-glicana é produzida na camada de subaleurona dos grãos, a qual é localizada logo abaixo da superfície dos mesmos, embora também haja produção de beta-glicana junto ao endosperma. Desta forma, faz-se necessária a caracterização detalhada, quanto ao conteúdo de beta-glicana nos grãos, assim como de outros caracteres possivelmente associados ao mesmo. Conhecer o comportamento do conteúdo de beta-glicana sob os diferentes ambientes de cultivo testados. Determinar o conteúdo médio de beta-glicana dos genótipos elite do Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS. Identificar associações entre caracteres agronômicos e de formato dos grãos com o conteúdo de beta-glicana.

### **1.1 Hipóteses**

- Há variabilidade genética para o caráter conteúdo de beta-glicana nos genótipos brasileiros de aveia branca.
- Os genótipos variam quanto ao seu conteúdo de beta-glicana quando cultivados em ambientes diferentes.

- Grãos de menor tamanho, com maior proporção superfície por volume, apresentam maior teor de beta-glicana, baseado no fato de que normalmente a beta-glicana encontra-se nas camadas externas do grão, de aleurona e subaleurona.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Caracterizar genótipos brasileiros de aveia branca (*Avena sativa* L.) quanto ao conteúdo de beta-glicana nos grãos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar conteúdo relativo de beta-glicana em grãos de genótipos elite de aveia branca adaptados ao sul do Brasil.
- Estudar a associação do conteúdo de beta-glicana e de outros componentes nutricionais dos grãos.
- Identificar se há associação entre tamanho e formato dos grãos com seu conteúdo de beta-glicana.
- Investigar a associação entre o conteúdo de beta-glicana dos grãos de aveia com caracteres agronômicos, sob cultivo em diferentes ambientes.
- Determinar a influência do ambiente no conteúdo da beta-glicana no grão e de sua estabilidade nos diferentes genótipos de aveia avaliados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Origem e caracterização botânica da aveia branca

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma espécie autógama pertencente à família *Poaceae*, tribo *Aveneae*. Possui como centro de origem a Ásia menor, que compreende um grupo de plantas pertencentes ao gênero *Avena*. A primeira descrição deste gênero foi feita pelo botânico francês Tournefort em 1700, mas a maior parte das espécies até hoje conhecidas foram descritas por Lineau em 1750 (Coffman, 1977).

O centro de diversidade da *Avena sativa* L. está localizado no oeste da região Mediterrânea (Marrocos, Espanha) (Diederichsen, 2009). A aveia branca foi levada até a Europa juntamente com o trigo e a cevada, como planta invasora destas. No continente europeu a aveia passou sofreu o processo de domesticação, sendo seu cultivo destinado ao consumo de animais domésticos. A introdução destas culturas em regiões mais frias possibilitou que a aveia ganhasse em competitividade e, finalmente, fosse domesticada como uma cultura alternativa (Thomas, 1995). Estudos mais recentes comprovam que as espécies do gênero *Avena* se originaram na Ásia Menor, sendo que aveia com casca originou-se na região do atual Irã, Geórgia e Rússia, enquanto que a aveia nuda (*Avena sativa* subsp. *nuda*) teve origem na região da Mongólia e China (Loskutov, 2008).

As aveias formam uma série poliplóide onde ocorrem espécies diplóides, tetraplóides e hexaplóides, com número básico de cromossomos igual a sete. Pertence a família *Poaceae*, subfamília *Poideae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. A aveia branca

(*Avena sativa* L.) é uma espécie alohexaplóide com  $2n = 6x = 42$  cromossomos, combinando os genomas AACCCDD de três espécies ancestrais diplóides (Thomas, 1992). O genoma da aveia é um dos maiores entre os cereais e complexo devido ao elevado número de translocações e inversões. O gênero *Avena* contempla diversas espécies diplóides, tetraplóides e hexaplóides. Os subgenomas A e D são altamente relacionados. Acredita-se que o genoma D nunca tenha existido como uma espécie, porém, é sugerido que tenha derivado diretamente do genoma A (Leggett e Markhand, 1995). Dados citogenéticos indicam que a *Avena sativa* L. surgiu através da alopoliploidia por possuir genomas correlacionados como *A. insularis* (provável doador do genoma C) e *A. barbata* (provável doador do genoma B) e *A. sterilis* (provável ancestral direto). O genoma da aveia sofreu uma diploidização, ou seja, evoluiu no sentido de que os cromossomos do mesmo genoma somente formam bivalentes com os pares do genoma a que pertencem.

A aveia apresenta um sistema radicular fibroso e fasciculado, com raízes seminais e adventícias. Os colmos são eretos, cilíndricos e composto de uma série de nós e entrenós. O colmo principal ou colmos laterais dão origem aos colmos axilares ou afilhos (Bonnett, 1961). Os colmos possuem de 4 a 5 nós e internós, sendo o internó superior chamado de pedúnculo. As folhas são constituídas por uma lâmina plana, pecíolo e bainha provida de lígula. Esta é normalmente bem desenvolvida e pode apresentar pêlos. A inflorescência é uma panícula terminal composta de ráquila, ráquis e espigueta. O grão é um fruto tipo cariopse (Leonard e Martin, 1963).

## **2.2 Produção e uso da aveia branca**

A aveia é um cereal que se adapta as condições climáticas e de manejo da região sul e sudeste do Brasil. Embora as espécies do gênero *Avena* sejam adaptadas para regiões de clima temperado, na América do Sul as espécies sofreram adaptação ampla, inclusive em



regiões de latitudes menores e clima tropical (norte de 24° S) (Federizzi e Mundstock, 2004).

A aveia é o sétimo cereal mais produzido no mundo depois do trigo, milho, arroz, cevada, sorgo e milheto. A produção mundial de grãos de aveia no ano de 2010 foi de 19,6 milhões de toneladas, e o primeiro país no ranking dos maiores produtores foi a Federação Russa, com 3,219 milhões de toneladas, na sequência o Canadá, com 2,297 milhões de toneladas, e a Austrália, com 1,374 milhões de toneladas, seguidos por países como Polônia, Estados Unidos, Espanha, Finlândia, Reino Unido e Argentina (FAOSTAT, 2010).

Segundo dados da FAO em 2010 o Brasil ocupava a décima oitava posição com uma produção de 368.207 toneladas. No Brasil a área cultivada cresceu consideravelmente ao longo de todos os anos, em 1976/77 o país cultivava 39,8 mil hectares, passando a 204 em 1998/99, chegando a 356,8 em 2005/06. Na safra mais atual, 2011/12, os dados de área atingem os 153 mil hectares. No Brasil a maior produção está situada na Região Sul, sendo que a aveia é produzida basicamente no Rio Grande do Sul e Paraná, sendo o primeiro o maior produtor. O Brasil, em 2005, se destacou mundialmente e assumiu a 14ª posição no ranking com a produção de 516,5 mil toneladas de grãos de aveia. Na safra seguinte, 2006/07, foram produzidos 378 mil toneladas e na safra de 2007/08, foram produzidas 221,8 de grãos de aveia. Em 2008/09 foram produzidas 232,3 mil toneladas de grãos de aveia e em 2009/10 foram produzidos 244,1 mil toneladas. Já em 2010/11 a produção foi de 379,0 mil toneladas. A estimativa para a safra 2011/12 é de 353,3 toneladas. (CONAB, 2012).

A área plantada com aveia foi reduzida acentuadamente ao longo do século XX, sendo que um dos motivos desta redução foi a substituição da tração animal nos sistemas agrícolas, pela mecanização. A alimentação de animais de tração era composta basicamente por aveia branca. A área sob cultivo em 2000 foi apenas um terço do que em

1961. Contrariamente à tendência mundial, o Brasil até meados da década de 2010 aumentou sua produção, recebendo novo impulso em virtude de diversos fatores como: ampla aceitação e consolidação do sistema de plantio direto, principalmente na região Sul do Brasil; disponibilidade de cultivares adaptadas e de elevados rendimentos de grãos; industrialização dos grãos com estabelecimento de novas agroindústrias no Rio Grande do Sul e Paraná; popularização dos benefícios à saúde humana associados ao consumo de aveia; e uso de aveia branca para alimentação de equinos.

A aveia sempre se destacou como um importante alimento para animais (Stevens, 2004). Porém, entre os alimentos funcionais para humanos, a aveia tem recebido grande atenção por parte de médicos e nutricionistas, devido às suas características nutricionais e, principalmente, ao teor e qualidade de fibras alimentares.

Para o consumo da população brasileira eram processadas até 2007, aproximadamente, 55 a 58 mil toneladas de grãos de aveia por ano, estando disponíveis no mercado mais de 150 produtos derivados de aveia. Além dos produtos alimentícios, a aveia também está presente na composição de cosméticos e de produtos de higiene pessoal (Floss, 2008). Em relação à qualidade nutricional, a aveia pode ser considerada um dos cereais mais nutritivos de todos, isto é completamente justificado considerando que é um alimento com teor total de proteína, variando de 12,4 a 24,5 g/100 g no grão descascado, o teor de lipídios também é elevado variando de 3,1 a 10,9%, distribuídos por todo o grão e com predominância de ácidos graxos insaturados, o que faz da aveia um alimento de excelente qualidade nutricional (Francisco, 2004).

A aveia é um cereal rico em fibras solúveis (5-7%) e possui maior concentração de proteínas (15-20%), se comparados com outros cereais (variando entre 6 a 18%), além de ser balanceada em seus aminoácidos, tendo maiores concentrações de ácido glutâmico, ácido aspártico, leucina e arginina. Possui em sua composição as sete vitaminas do

complexo B, é muito rica em vitamina E, assim como contêm nove minerais: Fe, Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Mn e Zn (Welch, 1995).

Na alimentação humana, a aveia é consumida, principalmente, na forma de flocos e de farinha, bastante utilizados para o consumo infantil (Mundstock, 1983). Pequenas quantidades deste cereal, quando inseridas na alimentação diária, têm a propriedade de reduzir o nível de colesterol no sangue devido á alta concentração de fibras solúveis, bem como melhorar a digestão (Ali *et al.*, 1986), diminuir a pressão sanguínea, reduzir a probabilidade de doenças do coração (Liu *et al.*, 1982) e a de câncer do colo do útero (Reddy, 1986).

### **2.3 Melhoramento genético da aveia branca na UFRGS**

Nas décadas de 60 e 70, a área cultivada com a aveia no Brasil para produção de grãos era insignificante. Tanto é que as variedades mais cultivadas pelos agricultores eram provenientes dos Estados Unidos e Argentina e tinham características típicas de plantas forrageiras. Apresentavam ciclo longo (de mais de 150 dias), estatura de planta elevada (150 cm) e conseqüente acamamento, baixa adaptação, reduzida produtividade e qualidade de grão baixa. O Brasil era um grande importador de grãos de aveia da Argentina e Uruguai (Federizzi e Pacheco, 2009).

A substituição de variedades antigas por variedades consideradas modernas, que apresentavam melhor tipo agrônômico, melhor adaptação aos ambientes sulbrasileiros, maior rendimento e qualidade de grãos, permitiu que o país se tornasse auto-suficiente na produção de grãos de aveia de alta qualidade (Carvalho *et al.*, 1987).

A busca por materiais com alta produtividade, qualidade de grãos, adaptabilidade ao clima da região sul do país e resistência durável às principais doenças da cultura são os principais objetivos do programa. As primeiras cultivares desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento da UFRGS foram lançadas em 1982. A primeira cultivar precoce e de baixa

estatura foi lançada em 1985, a cultivar UFRGS 7, a qual tinha elevado potencial produtivo, porém seus grãos eram pequenos e finos, sendo pouco adequados para a indústria de beneficiamento (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal).

A era moderna do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS é marcada pelo lançamento da cultivar UFRGS 14 em 1993. Esta cultivar é de ciclo intermediário, porte baixo e de elevado potencial de rendimento de grãos, superior ao de UFRGS 7, possuindo grãos grandes e largos, sendo prontamente adotada pelos agricultores e pela indústria de moagem. Outro marco importante do Programa de melhoramento foi o lançamento da cultivar URS Guapa, em 2004, a qual foi a cultivar que apresentou a maior área semeada entre os genótipos desenvolvidos pela UFRGS e, possivelmente a maior área semeada entre todos os cultivares já colocados a disposição dos agricultores no Brasil, independente de sua origem. A URS Guapa possui grãos grandes, tem um ciclo precoce, elevadíssimo potencial de rendimento de grãos, além da ampla adaptação a todos os ambientes de cultivo, sendo essas últimas duas características as principais responsáveis pelo seu sucesso junto aos agricultores das diversas regiões onde ela é cultivada (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal).

Mais recentemente, o lançamento da cultivar URS Taura, em 2009, representa momento importante no Programa de Melhoramento da UFRGS. Esta cultivar é de ciclo precoce, possui um porte bem baixo e é resistente ao acamamento. Seu elevado potencial de rendimento é ainda maior que o de URS Guapa, representando uma mudança no patamar de potencial de rendimento de grãos de aveia. Além destas características, a URS Taura apresenta uma resposta positiva a melhoria do ambiente e depende, portanto, de condições adequadas de cultivo, em relação as demais cultivares disponíveis aos agricultores. Uma maior densidade de semeadura e maiores níveis de fertilização do solo são necessários para atingir o potencial da cultivar (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal).

## 2.4 Beta-glicana

No nível fisiológico, as gramíneas se diferenciam da maioria das outras plantas terrestres pela composição de suas paredes celulares. Suas paredes contém (1→3;1→4)-β-D-glicanas, que são distribuídas quase que exclusivamente dentro da família Poaceae. Houve um interesse de longa data nas características indesejáveis da beta-glicana em cevada, nas indústrias de malte e cerveja, e no estoque de alimentos para animais, e este interesse levou ao desenvolvimento precoce de mapas de QTL's e de marcadores moleculares para as regiões do genoma de cevada que contribuem para os níveis desse polissacarídeo. Mais recentemente, os efeitos benéficos da beta-glicana na saúde humana (Wood, 2007) e as potencialidades dos polissacarídeos da parede de gramíneas para produção em grande escala de biomassa, que sustenta as indústrias de bioetanol, foram reconhecidos e têm gerado novamente interesse em enzimas e genes que correspondem e direcionam a biossíntese e degradação de beta-glicana (Fincher, 2009).

### 2.4.1 Caracterização da beta-glicana

A beta-glicana são os componentes mais importantes da fibra solúvel da aveia, trata-se de uma molécula linear compostas de ligações β (1→3) e β (1→4), entre as unidades D-glicopiranosil (Aspinal & Carpenter, 1984).

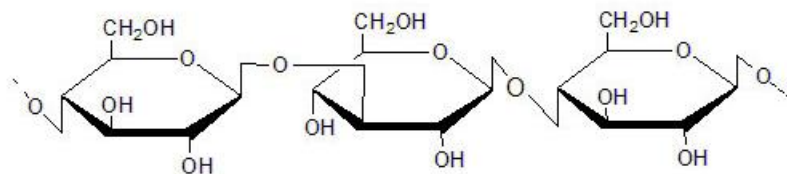


FIGURA 1. Estrutura química da beta-glicana com ligações β (1→3) e β (1→4).

As beta-glicanas são polissacarídeos não amiláceos encontrados nas paredes celulares do endosperma da aveia e da cevada (Marlett, 1993). Fazem parte das paredes celulares dos grãos, sua concentração é maior na camada subaleurona, endosperma e camada de aleurona. A fibra de beta-glicana consiste em uma cadeia linear de moléculas de

glicose que se ligam através de várias ligações glicosídicas do tipo  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) interrompidas por uma única ligação glicosídica  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 3) (Dornez *et al.*, 2011). A beta-glicana é resistente a processos digestivos, forma soluções viscosas em contato com a água e possui características pseudo-plásticas (Wood *et al.*, 1994). Frações ricas em beta-glicana, oriundas de aveia e cevada, podem resultar em aumento no volume da massa quando utilizadas em concentrações determinadas em farinha de trigo, provavelmente devido ao aumento da viscosidade da massa. Considera-se que a beta-glicana pode desempenhar um papel na melhoria da estrutura do miolo de pão, estabilizando células de ar na massa e impedindo a sua coalescência. Relações também foram estabelecidas entre a concentração de beta-glicana e as características da pasta da farinha de aveia. O aumento do pico da viscosidade que ocorreu com o aumento do conteúdo de beta-glicana de cultivares de aveia foi explicado por um aumento da capacidade de ligação de água das farinhas (Lazaridou e Biliaderis, 2007).

O componente principal da parede celular (2 a 7% do peso seco total) no endosperma da aveia é uma ligação mista de beta-glicana. A beta-glicana da aveia tem um peso molecular maior do que a da cevada ou do centeio. Nutricionalmente, a beta-glicana é uma fibra dietética não degradável pelas enzimas digestivas. A beta-glicana é de fácil extração, formando soluções viscosas e é conhecida por diminuir os níveis de colesterol sanguíneo e controlar o aumento de glicose e insulina no sangue após as refeições (Kaukovirta-Norja *et al.*, 2004).

Na aveia branca o teor de beta-glicana é variável, sendo influenciado por características genéticas de cada cultivar e por efeitos ambientais. Em trabalho desenvolvido por Wood *et al.*, 1991, em aveia de Saskatoon, Canadá, foi verificado que a cariopse de aveia continha entre 3,91 e 6,82% de beta-glicana e o farelo entre 5,81 e 8,89%.

Em estudo com cevada verificou-se que quando há um aumento no conteúdo de beta-glicana os grãos tornam-se mais duros e absorvem menos água (Gamlat *et al.*, 2008). Não foram encontrados em aveia estudos que indiquem este mesmo comportamento frente ao aumento do conteúdo de beta-glicana, tendo em vista que a dureza e menor absorção de água podem gerar um maior percentual de quebra durante a flocagem. Logo, é possível que na medida que se busca um aumento no conteúdo de beta-glicana em função dos seus benefícios à saúde humana, podem ocorrer problemas para a indústria no processo de flocagem, caso a aveia apresente comportamento semelhante ao observado em grãos de cevada (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal).

#### **2.4.2 Efeito da Beta-glicana sobre a saúde humana**

O consumo moderado de grãos de aveia pode diminuir os níveis de colesterol total em torno de 5% na maioria das pessoas (Anderson, 1985). A aveia é considerada um alimento funcional graças à característica de diminuição do colesterol, e consequente prevenção de doenças coronárias, atribuída a beta-glicana. Alimentos funcionais são todos os alimentos naturais ou enriquecidos com aditivos alimentares (vitaminas, minerais e fibras) que possam contribuir para a manutenção da saúde ou redução do risco de doenças (FDA, 2011a).

As fibras responsáveis pela diminuição do colesterol são as beta-glicanas, presentes na aveia branca, que já foram estudadas e receberam a aprovação da FDA, que autorizou a declaração de alimento benéfico à saúde. Os alimentos que contêm pelo menos 0,75g de beta-glicana por porção podem reduzir o risco de doenças do coração (FDA, 2011b). Além dos benefícios em relação ao colesterol, o consumo de aveia pode levar a diminuição da absorção de glicose, trazendo benefícios para os diabéticos (Pick *et al.*, 1996), promovendo um melhor controle glicêmico, aumento da sensibilidade periférica à insulina e redução nas doses necessárias de insulina exógena (Anderson, 1987).

O controle glicêmico próximo a níveis normais é o principal objetivo no tratamento do diabetes, portanto a intervenção nutricional é de fundamental importância. Sendo o carboidrato o maior determinante dos níveis glicêmicos pós-prandiais, deve-se considerar o tipo e a quantidade do mesmo presente na dieta. A recomendação é de, no mínimo, 130 g de carboidratos/dia, de preferência os complexos, ricos em fibras. Baseado nos vários estudos que comprovam o impacto positivo das fibras solúveis na glicemia, um recente posicionamento da *American Diabetes Association* (2007) refere que um adequado nível de glicose sanguínea, próximo ao normal, é fundamental na prevenção das complicações crônicas do diabetes e do aparecimento do diabetes tipo 2, sendo este um dos principais objetivos no tratamento desta enfermidade. Indivíduos com alto risco de desenvolver diabetes tipo 2 e indivíduos portadores de diabetes tipo 1 devem ser encorajados a ingerir a recomendação de 14 gramas de fibra/1000 kcal em alimentos contendo grãos integrais (*American Dietetic Association - ADA, 2002*).

Estudos vêm demonstrando que a fibra solúvel em água, a beta-glicana de aveia, é eficaz na redução dos níveis séricos de colesterol, em conjunto com uma dieta com baixo teor de gordura, de um modo dose-dependente. Reduções de 10,1%, 11,5% e 15,9% no LDL-C resultaram, em menos de seis semanas, de tratamento em grupos com um consumo diário de 3,6, 4,0 e 6,0 g de beta-glicana, respectivamente, o equivalente a aproximadamente 56 g de farelo de aveia (Davidson *et al.*, 1991).

Resultados de estudos indicam que o efeito do farelo de aveia na redução do colesterol pode ser explicado por duas frações complementares, ou seja, uma fração solúvel em etanol e uma fração contendo beta-glicana. Além disso, o farelo de aveia e dois produtos purificados de beta-glicana (contendo 46% ou 97-98% de beta-glicana) tiveram os mesmos efeitos sobre o colesterol plasmático. A diferença na média das propriedades peso molecular e viscosidade não demonstraram efeito na redução do colesterol. Também observou-se que, apesar dos dois produtos purificados de beta-glicana terem sido



extensivamente processados, eles ainda foram capazes de reduzir o nível de colesterol no plasma (Immerstrand, 2010).

O efeito do farelo de aveia enriquecido com beta-glicana (15%) em três cereais matinais, foi estudado em pacientes não-dependentes de insulina com diabetes mellitus consumindo 4g, 6g e 8,6 g de beta-glicana. As três refeições reduziram significativamente o pico e os aumentos médios de glicose e insulina no sangue em comparação com o controle. Houve uma relação significativa entre o pico de glicose no plasma sanguíneo ou área sob a curva de aumento da glicose e a quantidade de beta-glicana nos cereais consumidos. Do mesmo modo, houve uma resposta linear na diminuição da glicemia relacionada com a dose de beta-glicana em pães de cevada (Wood, 2007).

Outros estudos demonstraram efeito de dose relacionado aos benefícios dos componentes nutricionais da aveia branca. Foi testado o efeito da dose de aveia em ratos com câncer no cólon. As doses baixa, média e alta reduziram significativamente os volumes do tumor em 13%, 17% e 43%, respectivamente, indicando um efeito inibitório de dose dependente. Enquanto isso, observou-se 38% e 54% de redução no peso de tumores em média e alta dose de dietas de aveia. Juntas, as evidências sugerem que a aveia ajuda a proteger contra o desenvolvimento do câncer de cólon e poderia ser um bom agente de quimioprevenção, se consumida como um suplemento diário. Por outro lado, o farelo de aveia, rico em beta-glicana, se mostrou menos protetor do que o farelo de trigo no modelo experimental do câncer do cólon. A idéia de atividade antitumoral eficaz, resultante do consumo de aveia, pode estar relacionado à efeitos sinérgicos de múltiplos nutrientes do que um nutriente sozinho (Wang *et al.*, 2011).

Outro papel importante da aveia na saúde humana é na alimentação de pessoas com doença celíaca. A doença celíaca é uma condição inflamatória crônica, causada por uma resposta imune inadequada de células intestinais T reativas ao glúten de trigo e proteínas prolaminas de cereais relacionados. Estudos demonstraram que alguns pacientes com

doença celíaca têm células T, na sua mucosa intestinal, reativas à avenina podendo desenvolver uma inflamação na mucosa. Intolerância à aveia pode causar atrofia nas vilosidades e inflamação em pacientes com doença celíaca que estão comendo aveia e aderiram à uma dieta livre de glúten (Arentz-Hanse, *et al.*, 2004).

#### **2.4.3 Controle genético da síntese e conteúdo de beta-glicana nos grãos**

Tecnologias de genômica funcional, ou seja, análise de QTL's, sequenciamento do genoma e genômica comparativa, tem possibilitado a identificação dos componentes do maquinário genético que sintetiza a beta-glicana das gramíneas. O fenômeno da colinearidade gênica, ou sintenia, que é observado entre espécies de gramíneas (Moore *et al.*, 1995 e Bennetzen, 2007), tem impulsionado essas abordagens genômicas comparativas, assim como trabalhos passados, em programas de melhoramento de cevada, onde QTL's para o conteúdo de beta-glicana no grão de cevada não germinada foram mapeados (Han *et al.*, 1995).

As primeiras pistas sobre a identidade dos genes que sintetizam a beta-glicana veio da descoberta do gene da celulose-sintase (*CesA*) por Pear *et al.* (1996). Análises posteriores de bibliotecas de sequências expressas, e bancos de dados de sequências de outros genes, indicaram que os genes *CesA* eram membros de uma superfamília muito maior de genes, que incluía tanto os genes *CesA* e famílias gênicas similares a celulose-sintase (*Csl*). Dada a semelhança química entre celulose e beta-glicana, foi cogitado que os genes codificando a síntese de beta-glicana pudessem ser membros de uma das famílias gênicas *Csl* (Fincher, 2009). As famílias de genes *Csl1*, na maioria das plantas vasculares, são grandes e foram divididas em subgrupos, designados *CslA* até *CslH* (Hazen *et al.*, 2002). Em *Arabidopsis*, existem pelo menos 30 genes *Csl* conhecidos e em arroz, no mínimo, 37. Em contraste com os genes *CesA*, as funções dos genes *Csl* revelaram-se

difíceis de definir. Dado os múltiplos genes *Csl* em plantas, não se conhece claramente a função biológica de todos eles (Burton, *et al.* 2006).

A recente identificação, por meio de genômica funcional, dos genes da celulose-sintase *CsIF*, como participantes na síntese de beta-glicana em gramíneas, é claramente um passo importante na definição dos mecanismos da sua biossíntese, mas é muito provável que genes adicionais estejam envolvidos no processo (Fincher, 2009).

A disponibilidade de informações sobre a família de genes *HvCsIF*, de cevada, permitiu a identificação de genes-alvo para a manipulação, dependendo se o objetivo é aumentar ou diminuir os níveis de beta-glicana em grãos ou em tecidos vegetativos. A partir de agora, é possível, para programas de melhoramento, explorar essa informação, através de transgenia ou através de análise de variabilidade natural, na estrutura do gene *HvCsIF* e nas taxas de transcrição do gene (Burton *et al.*, 2008).

Dado que as gramíneas representam um dos grupos que evoluiu mais recentemente dentre as plantas, pode-se supor que a evolução da síntese de beta-glicana do tipo encontrado nas gramíneas também foi um evento relativamente recente. Partindo da premissa de que a evolução de um novo polissacarídeo nas paredes não envolveria a evolução simultânea de um grande número de novos genes, pode-se suspeitar que a maquinaria biosintética necessária para síntese da beta-glicana já estava presente. A observação de que linhagens de *Arabidopsis* transformadas com um único gene, o *CsIF* das gramíneas, foram capazes de sintetizar esses polissacarídeos, embora em níveis baixos (Burton *et al.*, 2006), suportaria tal premissa, e sugere que somente um novo gene foi necessário para a evolução inicial da síntese de beta-glicana. Padrões de expressão do gene inicial foram, presumivelmente, aperfeiçoando-se e as famílias de genes *CsIF* nas gramíneas foram expandidas para seu tamanho atual de oito genes em arroz, sete em cevada, onze em sorgo e sete em *Brachypodium*. O conjunto de genes *CsIF* originalmente identificado no cromossomo 7 de arroz é conservado em posições sintênicas nas outras

gramíneas, para as quais a sequência do genoma ou mapas genéticos estão disponíveis (Fincher, 2009).

Mutantes de cevada que não produzem beta-glicana foram isolados, cada um deles tem a substituição de somente um nucleotídeo na região de codificação do gene *HvCslF6* envolvido na síntese de celulose. O estudo demonstrou que o gene original é responsável pela síntese de altos níveis de beta-glicana, enquanto que os genótipos com o gene mutado não produziam nada de beta-glicana. Em cevada, genótipos com baixo conteúdo de beta-glicana são desejados por aumentar a qualidade do malte, porém os mutantes estudados são inferiores agronomicamente e muito sensíveis ao frio (Taketa *et al.*, 2011).

Outros trabalhos analisaram o mesmo gene de cevada *CslF6* em mutantes *lys* (baixo conteúdo de amido e alto conteúdo de lisina) e estes apresentam redução na quantidade de amido sintetizado. Nos dois grupos de mutantes testados ocorreu uma menor expressão do gene ao longo do período de enchimento de grãos. Nos dois mutantes há uma menor deposição de amido nos grãos durante o enchimento e maior deposição de beta-glicana. Porém em um dos grupos (um só mutante) não há diferença no final do período de enchimento de grãos, enquanto no outro grupo (formado por dois mutantes) os grãos mantêm as diferenças no final do período de enchimento. Este estudo ajuda a demonstrar que plantas que produzem mais beta-glicana nos grãos tendem a compensar depositando menor quantidade de amido (Christensen & Scheller, 2012).

Estudos buscando mapear e descobrir marcadores para o gene *HvCslF6*, utilizando dois materiais contrastantes para o conteúdo de beta-glicana, encontraram 16 polimorfismos de um único nucleotídeo (SNPs). Analisando seis populações segregantes para beta-glicana foi possível validar a associação entre o haplótipo contendo o alelo TR 251 *HvCslF6* e alto conteúdo de beta-glicana. Este QTL encontra-se no cromossomo 7H da cevada (Cory *et al.*, 2012).

Estudando duas populações de aveia branca, *Kanota x Ogle* e *Kanota x Marion*, QTL's influenciando o conteúdo de beta-glicana e óleo foram identificados. Foram identificadas três regiões influenciando ambas as características. Duas destas regiões mostraram associação positiva entre o conteúdo de beta-glicana e óleo, cada uma presente em somente uma das populações. A terceira região, comum às duas populações, mostrou associação negativa, onde aumentava o conteúdo de beta-glicana e diminuía o conteúdo de óleo (Kianian, *et al.*, 2000).

Outros QTL's foram encontrados, em populações de aveia branca obtidas de diversos cruzamentos entre acessos de baixo e alto conteúdo de beta-glicana (466 acessos foram analisados, 238 avaliados com alto conteúdo e 228 com baixo conteúdo, todos foram obtidos do GRIM – *Germplasm Resources Information Network*), sendo somente três associados significativamente com o conteúdo de beta-glicana. As sequências destes QTL's foram comparadas com sequências do arroz e duas delas foram encontradas no cromossomo 7 do arroz em uma região contendo a família *CsIF*, conhecida por estar envolvida na síntese de beta-glicana (Newell, 2011).

#### **2.4.4 Associação entre a concentração de beta-glicana e caracteres agronômicos**

Em estudos sobre seleção utilizando materiais elite do programa de melhoramento da Iowa State University, Chernyshova *et al.* (2007) demonstraram que o teor de beta-glicana e o rendimento de grãos de aveia apresentaram correlação negativa, indicando ligação entre os locos que afetam o conteúdo de beta-glicana e os que afetam a produtividade, não excluindo a possibilidade de um loco pleiotrópico para alelos que afetam positivamente a beta-glicana e negativamente o rendimento de grãos. Esta correlação negativa foi pequena e não deve impedir os programas de melhoramento de selecionar materiais com elevado conteúdo de beta-glicana e alto potencial agronômico.

Em outro estudo, foi encontrada correlação positiva entre a proteína dos grãos de aveia e concentrações de beta-glicana ( $r = 0,969$ ,  $p < 0,05$ ), sob diferentes níveis de nitrogênio aplicados. A associação entre a proteína dos grãos de aveia e concentrações de beta-glicana ( $r = 0,496$ ,  $p < 0,05$ ), também se mostraram positivas quando diferentes formas de nitrogênio foram testadas. Maiores doses de adubação nitrogenada e nitrogênio na forma de nitrato resultaram em maiores teores de beta-glicana nos grãos. Esse trabalho indica, portanto, que é possível aumentar as concentrações de proteína e beta-glicana, simultaneamente, pelo gerenciamento da aplicação de nitrogênio (Fan *et al.*, 2009).

Peterson e Wood (1997) verificaram uma correlação positiva ( $r^2 = 0,65$ ) entre teor de proteína e teor de óleo. Para a beta-glicana a correlação também foi positiva ( $r^2 = 0,45$ ) com o teor de óleo. O conteúdo de amido e o tamanho do grão correlacionaram-se negativamente com o teor de óleo ( $r^2 = 0,86$  e  $0,81$ , respectivamente). Os resultados sugerem que uma seleção para beta-glicana pode ser atingida via seleção para aumento de óleo e proteína.

Correlações entre a beta-glicana e a performance agrônômica geralmente tem sido negativas e desfavoráveis, onde o aumento da beta-glicana diminui componentes agrônômicos como rendimento, massa de grãos e biomassa (25, 23 e 2% respectivamente) em uma determinada população. Por outro lado em outras duas populações de aveia branca não se verificou essa correlação negativa. O produto entre a beta-glicana e rendimento foi genotipicamente correlacionado de forma positiva com o rendimento ( $r^2 = 0,92$  para as duas populações) e o conteúdo de beta-glicana ( $r^2 = 0,66$  e  $0,26$  para cada uma das populações) (Cervantes-Martinez, *et al.*, 2002).

Uma base de dados com 150 linhagens de aveia branca foi avaliada quando a correlação entre características de qualidade, entre elas a beta-glicana e o teor de lipídios. Neste estudo se encontrou uma forte correlação entre ambos ( $r = 0,552$ ), comparando um grupo grande e contrastante de genótipos (Yan e Frégeau-Reid, 2008).

#### **2.4.5 Conteúdo de beta-glicana nos grãos e a interação genótipo x ambiente**

Trabalhos têm demonstrado que existem variações no conteúdo de componentes bioativos em aveia. Muito dessa variação pode estar relacionada aos efeitos do ambiente, mas, pelo menos algumas das diferenças, são geneticamente determinadas. Isso indica que existe uma variação genética suficiente no conteúdo de componentes bioativos, a ser explorado pelos melhoristas, para desenvolver variedades com melhor qualidade para a nutrição humana (Shewry *et al.*, 2008).

Estudos mostraram a variação no conteúdo de beta-glicana conforme a data de colheita e ambientes diferentes. Como a beta-glicana é um componente intermediário, a sua produção durante o enchimento de grãos é complexa e complica a interpretação dos dados sobre o efeito do ambiente no conteúdo de beta-glicana. Em cevada, ambientes que aumentam o tempo de enchimento tendem à diminuir a demanda por fotoassimilados e então levar à concentrações mais baixas de beta-glicana mas mais estáveis em diferentes ambientes (Dickin *et al.*, 2011). Um trabalho realizado nas condições ambientais da Dakota do Norte, EUA, onde o clima é mais seco que o do sul do Brasil, e onde a aveia é semeada na primavera e colhida no verão, sendo que as primaveras são frias, quando vários caracteres foram medidos, o teor de beta-glicana foi mais fortemente associado com teor de amido, associação positiva. A beta-glicana não foi associada com rendimento. A análise das condições de ambiente, temperatura, radiação e precipitação permitiram dizer que as condições de temperatura máxima e mínima diária, do início da estação de crescimento (primeiro mês), que influenciaram positivamente o rendimento de grãos também o fizeram com o teor de beta-glicana. Por outro lado, no período de enchimento de grãos, temperaturas mínimas foram negativamente correlacionadas com o rendimento de grãos e positivamente correlacionadas com conteúdo de beta-glicana. Logo, noites frias, no enchimento de grãos, favoreceram o rendimento, mas tiveram impacto negativo no teor de beta-glicana. As influências das chuvas sobre o rendimento de grãos e o teor de beta-

glicana também apresentou sentido oposto, no período de enchimento de grãos, enquanto maior quantidade de chuva influenciou negativamente o rendimento de grãos, favoreceu o conteúdo de beta-glicana (Doehlert *et al.*, 2001).

Estudos realizados no sul do Brasil mostraram que o conteúdo de beta-glicana varia de acordo com o ambiente e ano de cultivo. Os autores testaram 15 cultivares de aveia branca recomendadas para o Brasil nos municípios de Augusto Pestana, Capão do Leão e Passo Fundo. Eles verificaram que existem associações significativas positivas entre o conteúdo de beta-glicana e o rendimento de grãos, para a maioria dos ambientes testados os coeficientes de correlação variaram de 0,35 a 0,98 (Crestani *et al.*, 2010).

Estudando o efeito da adubação nitrogenada, Saastamoinen *et al.* (2004) não encontraram qualquer efeito deste tipo de adubação sobre o conteúdo de beta-glicana em grãos de aveia. Porém, verificaram efeito das cultivares, anos e locais, assim como das interações ano x local e ano x cultivar, sobre o conteúdo de beta-glicana.

Estudando o efeito de dose e fontes diferentes de nitrogênio, Weightman *et al.* (2004) verificaram que existe uma correlação positiva entre o aumento no conteúdo de beta-glicana e o aumento de rendimento de grãos em resposta ao aumento da dose de nitrogênio para as duas fontes testadas (nitrato de amônio e uréia foliar). A regressão linear simples entre a resposta da beta-glicana e da resposta do rendimento mostrou uma forte relação ( $p < 0,001$ ,  $R^2 = 0,46$ ,  $n = 30$ ). A beta-glicana tendeu a aumentar onde houve resposta positiva do rendimento frente a adubação nitrogenada. Doehlert *et al.* (2001) sugeriu que a beta-glicana e o amido tendem a serem depositados juntamente, e que este fato suporta a idéia de que conteúdos maiores de beta-glicana estariam associados com cultivares de maior rendimento, tendo em vista que o amido é a principal reserva de matéria seca da semente.

Maiores teores de beta-glicana foram encontrados quando o nitrato de amônio foi utilizado como fonte de nitrogênio em cultivares de aveia branca da Mongólia. O



experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Agrícola da Mongólia em 2005. Na cultivar nuda Paul, doses maiores do nutriente resultaram em maior concentração de beta-glicana. Na ausência de adubação nitrogenada ou em doses baixas de nitrogênio os grãos tiveram menor massa, mas mesmo assim o teor final de beta-glicana foi inferior. Este fato demonstra o efeito do nitrogênio no conteúdo de beta-glicana. A massa do grão pode ser grande sem afetar o conteúdo de beta-glicana, desde que a planta receba um bom suporte via adubação nitrogenada (Mingshou *et al.*, 2009).

#### **2.4.6 Determinação do conteúdo de beta-glicana nos grãos**

Técnicas histoquímicas específicas têm permitido uma comparação qualitativa na distribuição da beta-glicana em cultivares de aveia, assim como a evolução na microespectrofluorimetria computadorizada tem permitido a avaliação quantitativa. Evidências histoquímicas mostram que a beta-glicana da aveia está localizada principalmente nas células da parede do endosperma e em pequenas quantidades na camada de aleurona (Wood e Fulcher, 1983; Miller e Fulcher, 1994).

O farelo de aveia consistindo quase exclusivamente de camada de aleurona e tegumento provavelmente seria relativamente baixo em quantidade de beta-glicana. As paredes celulares mais grossas no endosperma da aveia estão na junção endosperma-camada de aleurona, e a resistência dessa região ao atrito causado pela moagem resulta em partículas grosseiras que fazem parte da beta-glicana no farelo enriquecido. Embora outras propriedades físicas das sementes, tais como tamanho da célula, podem influenciar as características de moagem, o exame microscópico revela que a espessura da parede celular endospermica é provavelmente a base de enriquecimento da beta-glicana no farelo de aveia. Revela também que a espessura dessa parede é variável ao longo do endosperma, e que tanto a espessura da parede celular e o grau em que esta varia ao longo do endosperma são diferentes entre as cultivares (Wood *et al.*, 1991).

O método de análise realizado em Espectrômetro do Infravermelho Proximal (NIR) tornou-se o método de escolha para a análise de grãos inteiros e amostras moídas. É amplamente utilizada em programas de melhoramento de plantas para a seleção de linhagens com as qualidades desejadas. A espectroscopia do NIR fornece uma análise rápida, segura e barata, no entanto é uma técnica que se baseia em uma calibração comparativa multivariada do espectro de amostras de referência. Na análise da beta-glicana o NIR se mostrou válido quando comparado ao método enzimático, normalmente gerador de dados para calibração dos espectrofotômetros (Blakeney e Flinn, 2005). O método enzimático segue os padrões orientados pelos fabricantes dos “kit’s” de determinação e a leitura, após a preparação das amostras, é feita via análise de fluxo contínuo (Miller, 1992).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

No total foram conduzidos seis ensaios nos anos de 2010 e 2011, uma vez que um dos objetivos do trabalho é estudar a interação genótipo x ambiente sobre o conteúdo de beta-glicana dos grãos de aveia branca. No ano de 2010 foram conduzidos ensaios, em três locais: Eldorado do Sul - RS, na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Cruz Alta – RS, na Estação Experimental da Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP); e Vacaria – RS, na Estação Experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) Nordeste. O ensaio de 2011 foi conduzido somente na Estação Experimental Agrônômica (EEA) da UFRGS. As legendas adotadas para identificar os diferentes ambientes diferentes foram para Eldorado do Sul, primeira época em 2010 (Eld10Ep1), para Eldorado do Sul, segunda época em 2010 (Eld10Ep2), para Eldorado do Sul, primeira época em 2011 (Eld11Ep1), para Eldorado do Sul, segunda época em 2011 (Eld11Ep2), para Cruz Alta em 2010 (CA2010) e para Vacaria em 2010 (Vac2010). Ambos os experimentos da EEA foram conduzidos em duas épocas de plantio, sendo que a primeira época corresponde à indicada para a implantação da cultura, e a segunda época correspondendo a uma semeadura tardia para a implantação da cultura, portanto, fora da época mais adequada. As análises de laboratório foram realizadas no Centro de Pesquisa em Alimentação, na Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade de Passo Fundo (UPF).

### 3.1 Material genético

Em 2010 e 2011, para a caracterização da presença de beta-glicana em grãos de aveia, foram utilizados 15 genótipos de aveia branca hexaploide (*Avena sativa* L.), sendo 14 deles com casca aderida e um sem casca, do tipo nuda. Do total, foram avaliadas 15 cultivares de aveia e duas linhagens elite do Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS (Tabela 1).

TABELA 1. Genealogia e presença de casca nos genótipos avaliados.

| Genótipo       | Genealogia   | Presença de casca |
|----------------|--|-------------------|
| UFRGS 7        | X1205 / FLA 1093   | Com casca         |
| UFRGS 14       | 80SA65 // Coronado <sup>2</sup> / Cortez <sup>3</sup> / Pendek / Me 1563   | Com casca         |
| URS 21         | UFRGS 10 / CTC 84B993  | Com casca         |
| URS 22         | UFRGS 841110 / UFRGS 884021-1  | Com casca         |
| URS Guapa      | UPF 17 Resel. // Guaiba Sel./CTC 84B993                                    | Com casca         |
| URS Taura      | UFRGS 970216-2 / UFRGS 970461  | Com casca         |
| URS Tarimba    | UFRGS 987016-1 / UFRGS 19  | Com casca         |
| URS Guria      | UFRGS 987015-2 / UFRGS 960195-2  | Com casca         |
| URS Charrua    | UFRGS 984126-1 / UFRGS 984109-7  | Com casca         |
| URS Torena     | UFRGS 984111-4 / UFRGS 988109-1  | Com casca         |
| URS Corona     | UFRGS 987016-1 / UFRGS 970497-1  | Com casca         |
| URS Guará      | UFRGS 987016-1 / UFRGS 970497-1  | Com casca         |
| URS Penca      | UFRGS 995078-2 / UFRGS 006054-4  | Com casca         |
| UFRGS 049001-2 | Desconhecido   | Sem casca         |
| UFRGS 087313-1 | FL0038 F1 (LA9339E53/ND 9508252)/<br>97 Quaker Nur 102 (Jim/3/O/M//5*Ogle) | Com casca         |

### 3.2 Instalação dos experimentos a campo

Durante os invernos de 2010 e 2011 os experimentos foram instalados na EEA. A Estação Experimental Agrônômica (EEA) da UFRGS, que tem como coordenadas geográficas 30°05'27'' de latitude sul e 51°40'18'' de longitude oeste, a altitude média é de 46m acima do nível do mar. Possui uma precipitação média anual de 1400mm e, segundo a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes (Bergamaschi, 1990). Com o objetivo de determinar se há interação entre

ambiente (ano, local e época de semeadura), o experimento foi conduzido a campo no inverno/primavera de 2010, em três locais,: Eldorado do Sul – RS (duas épocas de plantio), Cruz alta – RS e Vacaria – RS. Já em 2011 foi possível conduzir o experimento somente em Eldorado do Sul – RS, onde, assim como em 2010, o plantio foi feito em duas épocas.

Os experimentos foram semeados no sistema de plantio direto sobre palhada de soja. Em Eldorado do Sul, em ambos os anos a adubação constituiu de  $300 \text{ kg.ha}^{-1}$  da fórmula 10-30-15 de NPK, nas adubações de cobertura foram utilizados 80Kg de ureia no momento em que a aveia apresentava quatro a seis folhas expandidas. Nos outros locais a adubação seguiu as normas recomendadas para a cultura e as condições locais de solo.

No primeiro ano, os experimentos conduzidos em Eldorado do Sul foram semeados no dia 15 de junho de 2010, a semeadura na segunda época foi realizada dia 14 de julho de 2010. No segundo ano, a semeadura dos ensaios ocorreram nos dias 28 de junho e 26 de julho de 2011, correspondendo à primeira e segunda época de semeadura, respectivamente.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados. Em Eldorado do Sul o experimento foi constituído de quatro repetições e nos demais locais de três repetições. Cada parcela era composta de 5 linhas de 3 metros de comprimento, espaçadas 0,20 m entre si. O espaçamento entre parcelas foi de 0,40 m. Foram adotados os tratos culturais indicados para a cultura da aveia (Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia, 2006), sendo realizadas aplicações de fungicida para controle de moléstias fúngicas.

### **3.3 Avaliações realizadas**

A primeira avaliação realizada no experimento foi a data de florescimento, expressa em dias da emergência até o florescimento. A data do florescimento foi considerada como a data em que 50% dos colmos apresentavam panículas expostas.

As características avaliadas após a colheita foram:

- rendimento de grãos: expresso pela massa de grãos da parcela, transformada para kg/ha;

- peso do hectolitro (PH): expresso pela massa de 100 litros de grãos desaristados em kg/100 litros. Determinado em cilindro com volume de 250 ml apropriado e corrigido pela fórmula:  $PH = -3.5002 + [(massa \text{ de grãos em } 200 \text{ ml}) * 0.4254336]$ ;

- massa de mil grãos: estimada a partir da média de quatro amostras de 200 grãos desaristados cada, por parcela;

- área e formato do grão: foram determinados o comprimento, a largura, a área e a “circularidade”  $[(\text{perimeter}^2)/(4 * \text{área})]$ , dá uma idéia de quanto circular é o grão] de grãos individuais, em uma amostra de 100 grãos, para cada parcela. Os grãos foram descascados para as avaliações de dimensões e formato. As dimensões e formato dos grãos foram determinadas através da análise de imagens digitais, obtidas através de scanner, com auxílio do programa computacional Assess (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification - Lakhdar Lamari, Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, Canada).;

- composição nutricional dos grãos descascados: foram determinados os conteúdos de beta-glicana, proteína total, lipídeo, fibra total, fibra insolúvel, fibra solúvel, cinzas e carboidratos nas cariposes de aveia. Os resultados foram expressos em base seca. A amostra utilizada consistiu de 300 grãos descascados e moídos em moinho tipo Willey (Marconi, Piracicaba, Brasil). O descasque foi realizado em um debulhador de panículas individuais modelo “Wintersteiger LD 180”, regulado para realizar o descasque dos grãos, no tempo de 8 segundos de processamento de uma amostra de 50 g de grãos com casca. Após a moagem, o material foi peneirado, para obtenção de amostras homogêneas, em peneira granulométrica modelo 40 ASTM, 35 MESH/TYLER, 3" x 2" de aço inox. Na sequência as amostras foram preparadas em capsulas LANAS, procedimento realizado sempre pela mesma pessoa para evitar variações, para posterior leitura. Por fim, as

amostras foram analisadas em Espectrômetro do Infravermelho Proximal (NIRs), modelo 5000 (marca Perstorp Analytical, Maryland, EUA), no Centro de Pesquisa em Alimentação (Cepa), da Universidade de Passo Fundo. Os constituintes químicos foram obtidos a partir da utilização da curva de calibração Fartan do Nir, construída pelo laboratório de Físico-Química do Cepa a partir de métodos oficiais recomendados pela Association of official analytical chemistry - AOAC (2005).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan ( $p < 0.05$ ). Para realizar a análise de variância foi utilizado o procedimento “PROC GLM” do software SAS (SAS Institute, Inc., 2000), considerando os fatores como aleatórios.

A associação fenotípica entre caracteres foi determinada através da correlação de Pearson *et al.*, dentro de cada ambiente de estudo, por local, por ano e através de todos os ambientes, utilizando os valores obtidos em cada parcela. A fórmula para obtenção da correlação de Pearson (Steel *et al.*, 1997) é:

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) / (n - 1)}{(\sum (X - \bar{X})^2 / (n - 1))^{1/2} (\sum (Y - \bar{Y})^2 / (n - 1))^{1/2}}$$

Onde: r = coeficiente de correlação de Pearson;

X = observação individual da variável X;

$\bar{X}$  = média da variável X;

Y = observação individual da variável Y;

$\bar{Y}$  = média da variável Y;

n = é o número de observações.

A significância dos coeficientes de correlação foram testadas pelo teste *T* de Student, com n-2 graus de liberdade (Steel *et al.*, 1997), de acordo com a fórmula:

$$t = r / ((1 - r^2) / (n - 2))^{1/2}$$

A associação entre caracteres também foi avaliada através da análise de regressão linear e múltipla entre os caracteres estudados, utilizando o software ARC (Cook e Weisberg, 1999). Para aquelas regressões múltiplas cuja associação entre as variáveis explicativas e variável resposta foi significativa (teste  $F$ ,  $P < 0,05$ ) e cujos coeficientes de regressão foram também significativo (teste  $T$  de Student,  $P < 0,05$ ), foi realizada a padronização das variáveis e refeita a análise de regressão linear múltipla utilizando as variáveis padronizadas. A regressão múltipla com variáveis padronizadas permite quantificar o efeito causal de cada variável explicativa sobre a variável resposta, de forma comparativa; portanto, é possível identificar quais variáveis foram mais importantes em determinar a variação observada na variável resposta. A padronização de variáveis foi realizada através do procedimento “PROC STDIZE” do programa estatístico SAS, que também foi utilizado para estimar as regressões lineares múltiplas com dados padronizados (SAS Institute, Inc., 2000). Diferentes modelos de regressão linear múltipla foram testados, sendo apenas apresentados aqueles que foram significativos ao nível de 5%, segundo a análise de variância da regressão linear e cujos coeficientes de regressão ( $b$ 's) de cada variável explicativa foram significativos pelo teste  $T$  de Student, também ao nível de 5% de significância.

A estabilidade da concentração de beta-glicana em grãos de aveia, produzidos em diferentes ambientes, foi estimada através do método de Eberhart & Russel (1966). Cada experimento foi considerado como um ambiente, sendo que os índices ambientais foram estimados como a média do caráter de cada ambiente, através de todos os genótipos e repetições, subtraída da média geral do caráter, através de todos os ambientes, genótipos e repetições. Foram então estimados os coeficientes de regressão e o intercepto da regressão linear para cada genótipo, através de todos os ambientes e repetições, onde a variável explicativa era o índice ambiental e a variável dependente era o próprio caráter cuja



estabilidade estava sendo investigada. Também foi determinado a soma dos desvios da regressão de cada regressão linear. Desta forma, é considerado como de expressão estável, dentro de cada genótipo, o caráter cujo coeficiente de regressão ( $b$ ) não é diferente estatisticamente de um, possui soma de desvios da regressão pequena e, possui média elevada, comparativamente a outros genótipos, caso média elevada seja desejado para o caráter (Eberhart & Russel, 1966).

Infelizmente, neste estudo o número de ambientes foi relativamente pequeno e os resultados obtidos devem ser tomados com a devida cautela. Segundo a metodologia proposta por Eberhart e Russel (1966) um genótipo pode ter adaptabilidade ampla ou específica, a ambientes favoráveis ou a ambientes desfavoráveis. A adaptabilidade é medida pelo coeficiente de regressão ( $b$ ). Genótipos de adaptabilidade ampla são aqueles que apresentam  $b$  igual a 1, aproveitando a mudança favorável do ambiente para mudarem favoravelmente o caráter em questão; genótipos de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis apresentam  $b$  significativamente maior que 1; enquanto que genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis apresentam  $b$  significativamente menor que 1. Quanto a estabilidade, genótipo estável é aquele que tem comportamento previsível em função da mudança do ambiente, sendo a estabilidade avaliada pelos desvios da regressão linear. Quando os desvios não são diferentes de zero o genótipo apresenta estabilidade elevada e quando os desvios significativamente maiores que zero o genótipo é pouco estável.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Características agronômicas, nutricionais e de formato dos grãos nos diferentes ambientes**

As diferentes características avaliadas demonstraram variação conforme o ambiente de cultivo, a análise desta variação auxilia a entender melhor o comportamento de cada uma delas frente às variações ambientais. As médias das características agronômicas rendimento de grãos, peso do hectolitro, massa de mil grãos e dias da emergência até o florescimento apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes (Figura 2). Os valores absolutos das médias estão expressos na Tabela 2.

O rendimento de grãos variou grandemente entre os ambientes de teste, variando desde a média de apenas 1275 kg/ha, na segunda época de semeadura de 2011 em Eldorado do Sul, até 4768 kg/ha em Vacaria, no ano de 2010. No ano de 2010 rendimento de grãos elevado também foi verificado em Cruz Alta, porém em Eldorado do Sul os rendimentos de grãos médios foram cerca da metade daquele alcançados nos dois outros locais, refletindo as épocas pouco adequadas de semeadura e condições ambientais pouco favoráveis a expressão do caráter. Por outro lado, o rendimento de grãos foi bastante elevado na primeira época de semeadura de 2011 em Eldorado do Sul, refletindo a semeadura em época mais adequada. Já o desempenho do rendimento de grãos na segunda época de semeadura de 2011 em Eldorado do Sul foi o pior de todos, refletindo não só a semeadura bastante fora da época adequada e condições gerais de ambiente (solo, plantas daninhas, fertilização) bastante pobres (Figura 2-A e Tabela 2). Embora em 2010 o

rendimento de grãos tenha sido baixo na primeira época de semeadura em Eldorado do Sul, o peso do hectolitro neste ambiente foi elevado e semelhante aos outros dois locais de teste em 2010, ambos de rendimento de grãos médio elevados. Nas duas situações onde o rendimento de grãos foram os mais baixos (segunda época de semeadura de Eldorado do Sul, 2010 e 2011) foi verificado reduzido peso do hectolitro (Figura 2-B e Tabela 2), o qual foi acompanhado pela reduzida massa de mil grãos (Figura 2-C e Tabela 2), explicando o porquê do baixo peso do hectolitro. Por outro lado, a elevada massa média de mil grãos verificada em Vacaria no ano 2010 não foi acompanhada por uma elevação do peso do hectolitro, o que é esperado, visto que grãos grandes tendem a ter mais espaços vazios entre eles, reduzindo a massa de grãos por volume (Figuras 2-B e 2-C, e Tabela 2). A relação entre o número de dias da emergência ao florescimento e as características de grãos não são facilmente observáveis, porém os ambientes de menor rendimento de grãos, peso do hectolitro e massa de mil grãos (segunda época de semeadura de Eldorado do Sul, 2010 e 2011) também foram aqueles que apresentaram menor ciclo até o florescimento, refletindo menor período de crescimento da planta e certamente de enchimento de grãos (embora não medido), o qual deve ter ocorrido durante período de maior temperatura, portanto desfavorável ao acúmulo de fotoassimilados nos grãos (Figura 2 e Tabela 2).

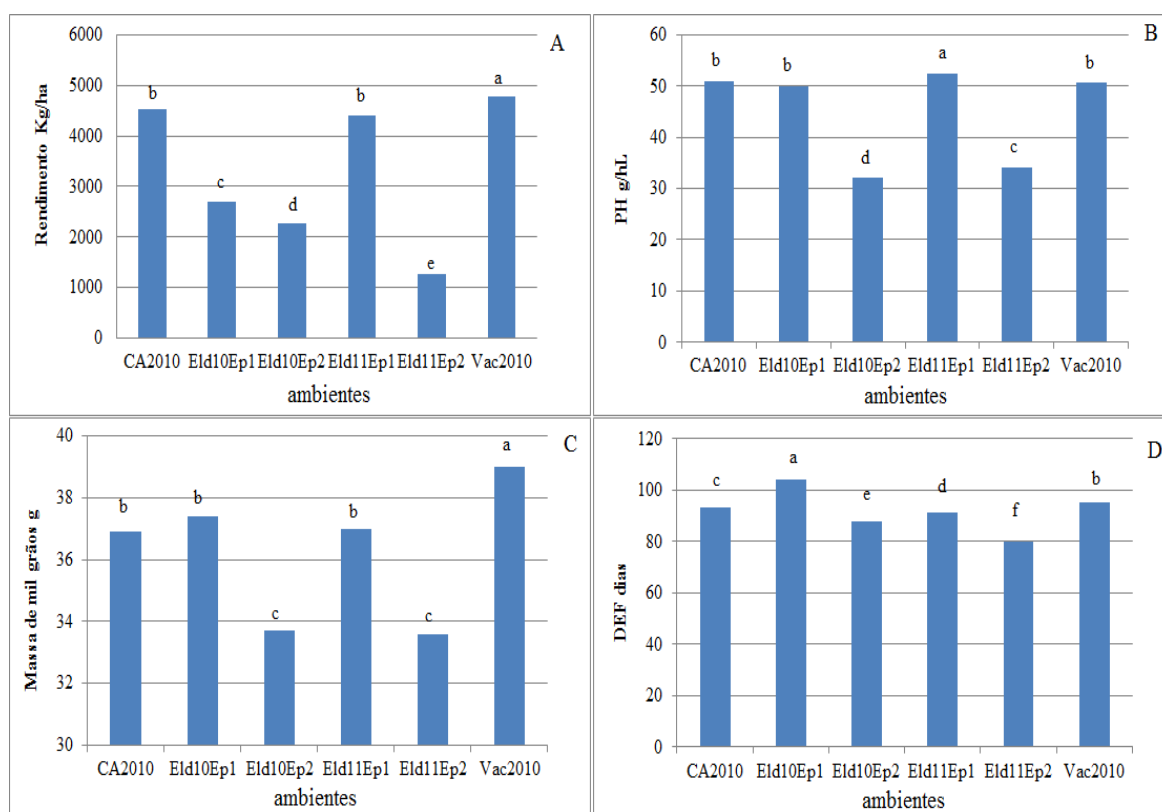


FIGURA 2. Médias das características agrônômicas nos diferentes ambientes. A) Rendimento (Kg/há). B) Peso do hectolitro (g/hl). C) Massa de mil grãos (g). D) Dias da emergência até o florescimento. Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 2. Médias das características agrônômicas nos diferentes ambientes.

| Ambiente        | Rendimento (Kg/ha) | PH (g/hL) | MMG (g) | DEF (dias) |
|-----------------|--------------------|-----------|---------|------------|
| <b>CA2010</b>   | 4522               | b         | 37      | 93         |
| <b>Eld10Ep1</b> | 2708               | c         | 37      | 104        |
| <b>Eld10Ep2</b> | 2281               | d         | 34      | 88         |
| <b>Eld11Ep1</b> | 4399               | b         | 37      | 91         |
| <b>Eld11Ep2</b> | 1275               | e         | 34      | 80         |
| <b>Vac2010</b>  | 4768               | a         | 39      | 95         |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

As características de formato dos grãos (Figura 3 e 4) apresentaram uma pequena variação em suas médias nos diferentes ambientes. Os valores absolutos estão expressos na Tabela 3.

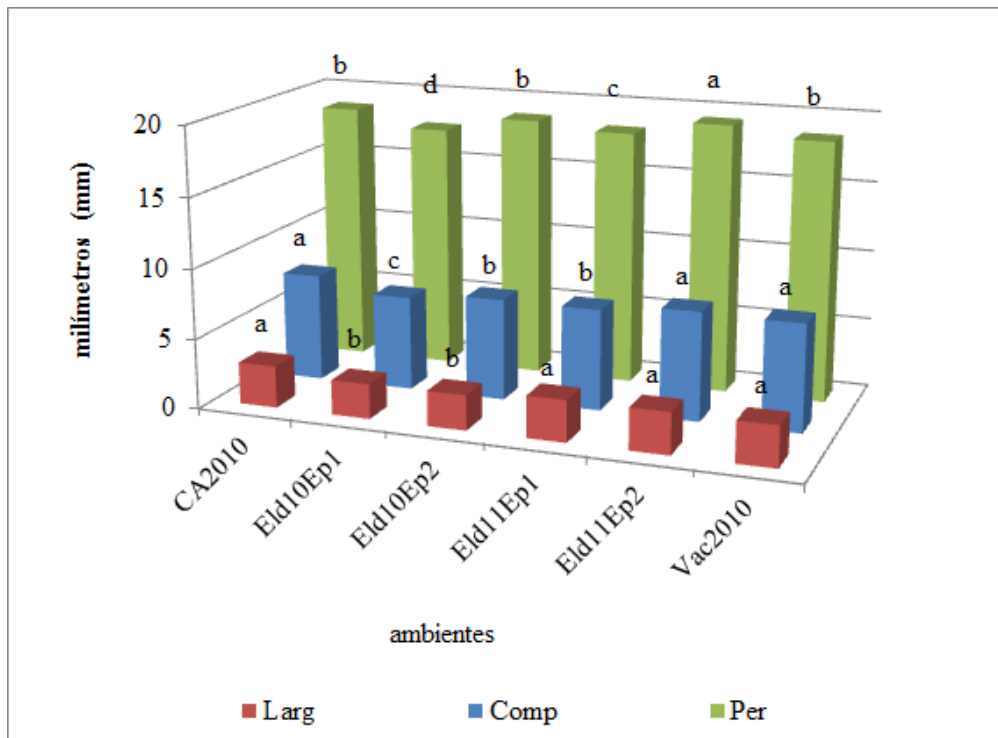


FIGURA 3. Médias das características de formato dos grãos nos diferentes ambientes. Largura (Larg, mm), Comprimento (Comp, mm) e Perímetro (Per, mm). Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

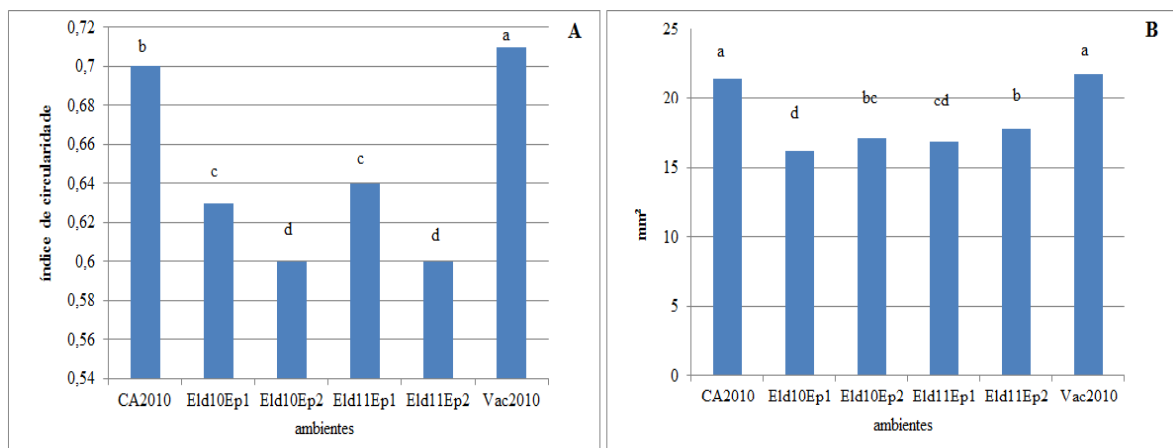


FIGURA 4. Médias das características espaciais dos grãos nos diferentes ambientes. A) Índice de Circularidade. B) Área (mm<sup>2</sup>). Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

Ao associar os ambientes e as características de formato dos grãos é possível verificar que em ambientes com menor rendimento e menor enchimento de grãos (Tabela 3) os mesmos foram menos circulares (Figura 4-A). A circularidade reflete o enchimento

dos grãos, o fator genético da cultivar também é importante, mas não foi possível de ser avaliado neste trabalho. Os grãos mais circulares também foram aqueles de maior área. A área dos grãos apresentou comportamento similar à circularidade, atingindo valores menores nos ambientes de menor rendimento (Figura 4-A). Em Eldorado 2010, primeira época, tivemos os grãos mais curtos e estreitos, sendo este um ambiente de grãos menos circulares e de menor área.

As características nutricionais dos grãos, sendo elas conteúdo de carboidratos (Carb), beta-glicana (BG), proteínas (Prot) e lipídios (Lip), também apresentaram variação nos diferentes ambientes (Figura 5).

Os valores mais altos de beta-glicana foram encontrados em dois ambientes, no local Eldorado 2011, para as duas épocas de plantio (Figura 5-B). Nestes mesmos ambientes tivemos valores pequenos para circularidade, demonstrando uma associação negativa, entre as características, porém Eld10Ep2 teve menor circularidade e BG baixa. Para as características agrônômicas (Figura 2) sempre visualizamos uma queda nas médias dos caracteres na segunda época de plantio, mas essa queda não ocorre no conteúdo de beta-glicana (Figura 5-B). Já em relação às características de formato os dois ambientes mais favoráveis para beta-glicana apresentaram grãos mais largos e compridos, porém Vac2010 teve menor conteúdo de BG.

TABELA 3. Médias das características de formato dos grãos por ambiente de teste.

| <b>Ambiente</b> | <b>Comp (mm)</b> |   | <b>Larg (mm)</b> |   | <b>Per (mm)</b> |   | <b>Área (mm<sup>2</sup>)</b> |    | <b>Circ</b> |   |
|-----------------|------------------|---|------------------|---|-----------------|---|------------------------------|----|-------------|---|
| <b>CA2010</b>   | 7,69             | a | 3,00             | a | 18,68           | b | 21,41                        | a  | 0,70        | b |
| <b>Eld10Ep1</b> | 6,74             | c | 2,48             | b | 17,57           | d | 16,20                        | d  | 0,63        | c |
| <b>Eld10Ep2</b> | 7,26             | b | 2,51             | b | 18,69           | b | 17,18                        | bc | 0,60        | d |
| <b>Eld11Ep1</b> | 7,23             | b | 2,97             | a | 18,21           | c | 16,81                        | cd | 0,64        | c |
| <b>Eld11Ep2</b> | 7,78             | a | 2,97             | a | 19,26           | a | 17,78                        | b  | 0,60        | d |
| <b>Vac2010</b>  | 7,68             | a | 2,93             | a | 18,56           | b | 21,69                        | a  | 0,71        | a |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

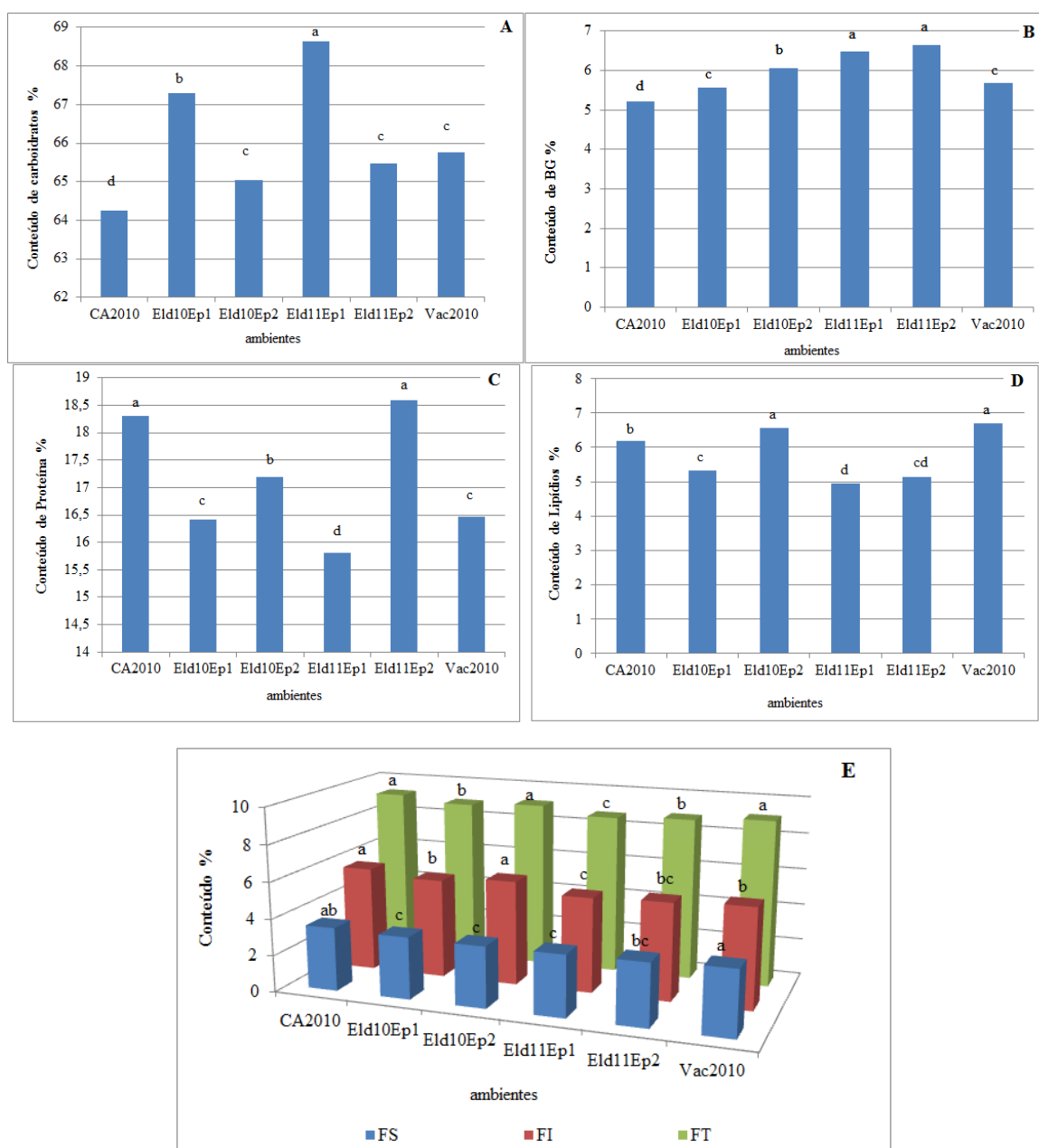


FIGURA 5. Médias das características nutricionais dos grãos nos diferentes ambientes. A) Conteúdo (%) de carboidratos (Carb). B) Conteúdo (%) de beta-glicana (BG). C) Conteúdo (%) de proteína. D) Conteúdo (%) de lipídios. E) Conteúdo (%) de Fibra solúvel (FS), Fibra insolúvel (FI) e Fibra total (FT) Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

Em ambientes onde os grãos apresentam bom enchimento é possível dizer que suas reservas de carboidratos são adequadamente preenchidas. Por outro lado ambientes favoráveis ao rendimento, como Cruz Alta 2010 e Vacaria 2010, apresentaram valores menores de carboidratos e valores maiores de fibras totais, solúveis e insolúveis. As

condições ambientais provavelmente estejam influenciando o destino dos fotoassimilados para os grãos.

Os valores absolutos dos conteúdos das características nutricionais encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4. Médias do conteúdo de caracteres nutricionais dos grãos.

| <b>Ambiente</b> | <b>Carb %</b> | <b>Prot %</b> | <b>Lip %</b> | <b>BG %</b> | <b>FT %</b> | <b>FI %</b> | <b>FS %</b> |
|-----------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CA2010</b>   | 64,26 d       | 18,31 a       | 6,19 b       | 5,22 d      | 9,24 a      | 5,74 a      | 3,48 ab     |
| <b>Eld10Ep1</b> | 67,29 b       | 16,42 c       | 5,33 c       | 5,56 c      | 8,92 b      | 5,43 b      | 3,39 c      |
| <b>Eld10Ep2</b> | 65,05 c       | 17,19 b       | 6,57 a       | 6,06 b      | 9,12 a      | 5,73 a      | 3,34 c      |
| <b>Eld11Ep1</b> | 68,64 a       | 15,81 d       | 4,95 d       | 6,48 a      | 8,71 c      | 5,21 c      | 3,36 c      |
| <b>Eld11Ep2</b> | 65,48 c       | 18,60 a       | 5,14 cd      | 6,64 a      | 8,87 b      | 5,34 bc     | 3,41 bc     |
| <b>Vac2010</b>  | 65,76 c       | 16,47 c       | 6,70 a       | 5,68 c      | 9,09 a      | 5,50 b      | 3,55 a      |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2 Associações entre caracteres agronômicos, químicos e físicos dos grãos

A fim de estudar como os caracteres avaliados são associados e procurar entender os possíveis fatores que influenciam a formação do conteúdo de beta-glicana dos grãos de aveia, nos diferentes ambientes, foi realizada análise de correlação fenotípica entre todas as características e análise de regressão linear múltipla. Nesta última análise, onde o conteúdo de beta-glicana foi considerado a variável dependente e todas as demais variáveis avaliadas foram consideradas como variáveis explicativas.

Através da análise da correlação de Pearson (Quadro 1) entre as características é possível compreender melhor como elas se relacionam umas com as outras. A beta-glicana apresenta correlação significativa negativa (-0,29923) com o peso do hectolitro. É importante salientar que esta correlação negativa não existe quando avaliamos a massa de mil grãos, ou seja, grãos mais pesados não apresentam queda no conteúdo de beta-glicana. Provavelmente a correlação negativa com o PH esteja relacionada ao formato dos grãos. A correlação do PH é negativa com o comprimento dos grãos (-0,18519), enquanto que é positiva com a circularidade (0,41668). Grãos mais compridos possuem PH menor que



grãos mais circulares. Já para a beta-glicana a correlação com o comprimento foi significativa positiva (0,23606) e significativa negativa com a circularidade (-0,23901). O PH é uma medida de qualidade, que expressa o bom ou o mau enchimento dos grãos, mas o formato dos mesmos pode influenciar seu valor por uma questão de acomodação e melhor preenchimento dos espaços no momento da determinação do PH. Logo é possível obter grãos com bom enchimento e elevado conteúdo de beta-glicana, pois a relação entre PH e beta-glicana pode estar sendo influenciada pelo formato dos grãos.

Ao avaliar a correlação da beta-glicana com as características de formato dos grãos fica claro que os grãos precisam ser grandes. A correlação significativa positiva com perímetro (0,29471, <.0001), comprimento (0,23606, <.0001) e largura (0,18849, 0,0008) mostra que os grãos devem ter estas medidas em valores mais elevados. A correlação entre conteúdo de BG com a circularidade é negativa (-0,23901), mostrando que os grãos precisam ser grandes, mas não circulares, precisam ter uma das dimensões maior. O comprimento tende a ser mais importante que a largura dos grãos para a obtenção de materiais com maior conteúdo de beta-glicana (Quadro 1).

Avaliando as correlações com as características nutricionais verificou-se que o conteúdo de da beta-glicana é negativamente correlacionado com o conteúdo de lipídio dos grãos (-0,27714), mas não foi correlacionado com o conteúdo de proteína. Estas características têm apresentado correlações diferentes em diversos estudos, em alguns experimentos são positivas e em outros são negativas. O ambiente influencia fortemente estas características, sendo difícil entender se existe uma correlação causada por efeitos genéticos entre elas. O conteúdo de carboidratos apresenta correlação positiva com a beta-glicana. Segundo referências na literatura este fato é esperado, pois ambos são depositados nos grãos de forma conjunta, ou seja, os fatores que influenciam o conteúdo de beta-glicana também afetam o de carboidratos. A beta-glicana é um constituinte da parede celular e o carboidrato é amido de reserva, provavelmente os genes e a rota de deposição

destes constituintes seja similar e compartilhe uma genética comum. Porém os mutantes *lys* de cevada, para o gene *CsIF6*, mostraram menor deposição de amido e maior produção de beta-glicana (Christensen e Scheller, 2012), indicando que as rotas de biossíntese desses compostos devem ser complexas.

|              | DEF              | PH               | MMG              | Area             | perim            | compr            | larg             | circ             | BG               | Prot             | Lip              | FT               | FI               | FS              | ASH          | CARB           |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|----------------|
| <b>Rend</b>  | 0,22<br>0,0001   | 0,53<br><.0001   | 0,35<br><.0001   | 0,40<br><.0001   | -0,04<br>ns      | 0,08<br>ns       | 0,30<br><.0001   | 0,58<br><.0001   | -0,06<br>ns      | -0,35<br><.0001  | 0,04<br>ns       | -0,10<br>ns      | -0,09<br>ns      | -0,02<br>ns     | -0,04<br>ns  | 0,23<br><.0001 |
| <b>DEF</b>   | 0,4941<br><.0001 | 0,1323<br>0,019  | -0,084<br>ns     | -0,461<br><.0001 | -0,451<br><.0001 | -0,34<br><.0001  | 0,2429<br><.0001 | -0,425<br><.0001 | -0,239<br><.0001 | 0,173<br>0,0021  | 0,169<br>0,0027  | 0,1576<br>0,0051 | 0,0768<br>ns     | -0,091<br>ns    | 0,0166<br>ns |                |
| <b>PH</b>    | 0,3127<br><.0001 | 0,0428<br>ns     | -0,311<br><.0001 | -0,185<br>0,001  | 0,086<br>ns      | 0,4167<br><.0001 | -0,299<br><.0001 | -0,306<br><.0001 | -0,166<br>0,0032 | -0,164<br>0,0036 | -0,217<br>0,0001 | 0,0487<br>ns     | -0,256<br><.0001 | 0,246<br><.0001 |              |                |
| <b>MMG</b>   | 0,3764<br><.0001 | 0,1721<br>0,0022 | 0,1303<br>0,0209 | 0,3779<br><.0001 | 0,4103<br><.0001 | 0,029<br>ns      | -0,333<br><.0001 | -0,288<br><.0001 | -0,343<br><.0001 | -0,361<br><.0001 | -0,044<br>ns     | -0,123<br>0,0296 | 0,3886<br><.0001 |                 |              |                |
| <b>Area</b>  | 0,5104<br><.0001 | 0,5748<br><.0001 | 0,4851<br><.0001 | 0,4933<br><.0001 | -0,028<br>ns     | 0,0483<br>ns     | 0,0586<br>ns     | -0,025<br>ns     | -0,037<br>ns     | 0,0122<br>ns     | -0,025<br>ns     | -0,019<br>ns     |                  |                 |              |                |
| <b>perim</b> | 0,8442<br><.0001 | 0,3758<br><.0001 | -0,28<br><.0001  | 0,2947<br><.0001 | -0,021<br>ns     | -0,272<br><.0001 | -0,304<br><.0001 | -0,259<br><.0001 | -0,217<br>0,0001 | -0,022<br>ns     | -0,022<br>ns     | 0,1952<br>0,0005 |                  |                 |              |                |
| <b>compr</b> | 0,4311<br><.0001 | -0,101<br>ns     | 0,2361<br><.0001 | 0,0731<br>ns     | -0,161<br>0,0042 | -0,172<br>0,0022 | -0,17<br>0,0026  | -0,076<br>ns     | -0,025<br>ns     | 0,0791<br>ns     |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>larg</b>  | 0,4245<br><.0001 | 0,1885<br>0,0008 | 0,0339<br>ns     | -0,217<br>0,0001 | -0,213<br>0,0001 | -0,22<br><.0001  | 0,0068<br>ns     | 0,0656<br>0,0081 |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>circ</b>  | -0,239<br><.0001 | 0,0191<br>ns     | 0,2119<br>0,0002 | 0,1323<br>0,019  | 0,089<br>ns      | 0,1616<br>0,0041 | 0,0377<br>ns     | -0,09<br>ns      |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>BG</b>    | -0,098<br>ns     | -0,277<br><.0001 | -0,153<br>0,0067 | -0,071<br>ns     | -0,217<br>0,0001 | 0,173<br>0,0021  | 0,2254<br><.0001 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>Prot</b>  | 0,4235<br><.0001 | 0,6368<br><.0001 | 0,593<br><.0001  | 0,2621<br><.0001 | 0,2005<br>0,0004 | -0,869<br><.0001 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>Lip</b>   | 0,7893<br><.0001 | 0,7701<br><.0001 | 0,225<br><.0001  | 0,1908<br>0,0007 | -0,791<br><.0001 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>FT</b>    | 0,9398<br><.0001 | 0,3449<br><.0001 | 0,3643<br><.0001 | -0,867<br><.0001 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>FI</b>    | 0,0685<br>ns     | 0,4037<br><.0001 | -0,824<br><.0001 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>FS</b>    | -0,053<br>ns     | -0,285<br><.0001 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |
| <b>ASH</b>   | -0,188<br>0,0008 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                 |              |                |

QUADRO 1. Correlações de Pearson entre as características avaliadas, considerando todos os ambientes de teste e todos os genótipos avaliados.

Procurando entender melhor como o conteúdo de beta-glicana dos grãos é formado nos diferentes ambientes, foram realizadas regressões lineares múltiplas entre o conteúdo de beta-glicana e os demais caracteres avaliados, dentro de cada um dos ambientes de avaliação. Os ambientes foram diferenciados primeiramente pelo local do ensaio, depois pelo ano e por fim pela época de plantio. Na Figura 6 são apresentados os gráficos da

regressão linear de todas as variáveis explicativas que foram significativamente associadas ao conteúdo de beta-glicana dos grãos, dentro de cada ambiente. Os parâmetros de cada regressão linear múltipla são apresentados na Tabela 5, sendo possível visualizar quais características influenciaram significativamente o conteúdo de beta-glicana, em cada um dos ambientes. Ao avaliar primeiramente todos ambientes, mas também levando em conta as influências pontuais de cada ambiente, percebe-se que existe uma influência positiva do rendimento no conteúdo de BG, assim como a massa de mil grãos, mostrando que é importante que a planta tenha grãos bem formados. Na avaliação de características relacionadas ao formato do grão não é possível perceber uma relação clara entre algumas delas e o conteúdo de BG. Existem indícios de que os grãos devem ser compridos e não-circulares, a largura apresentou influência negativa em somente um ambiente, mas não nos permite admitir, como regra, que os grãos devam ser finos. Quanto aos outros componentes nutricionais, aparentemente, tendem a apresentar influência negativa no conteúdo de BG. Lipídio demonstrou esse efeito de forma mais clara, a proteína e o carboidrato apresentaram efeito somente em Eldorado do Sul no ano de 2011, mostrando que a influência negativa não é necessariamente uma regra. Para todos os ambientes a regressão foi significativa mostrando a validade das influências encontradas.

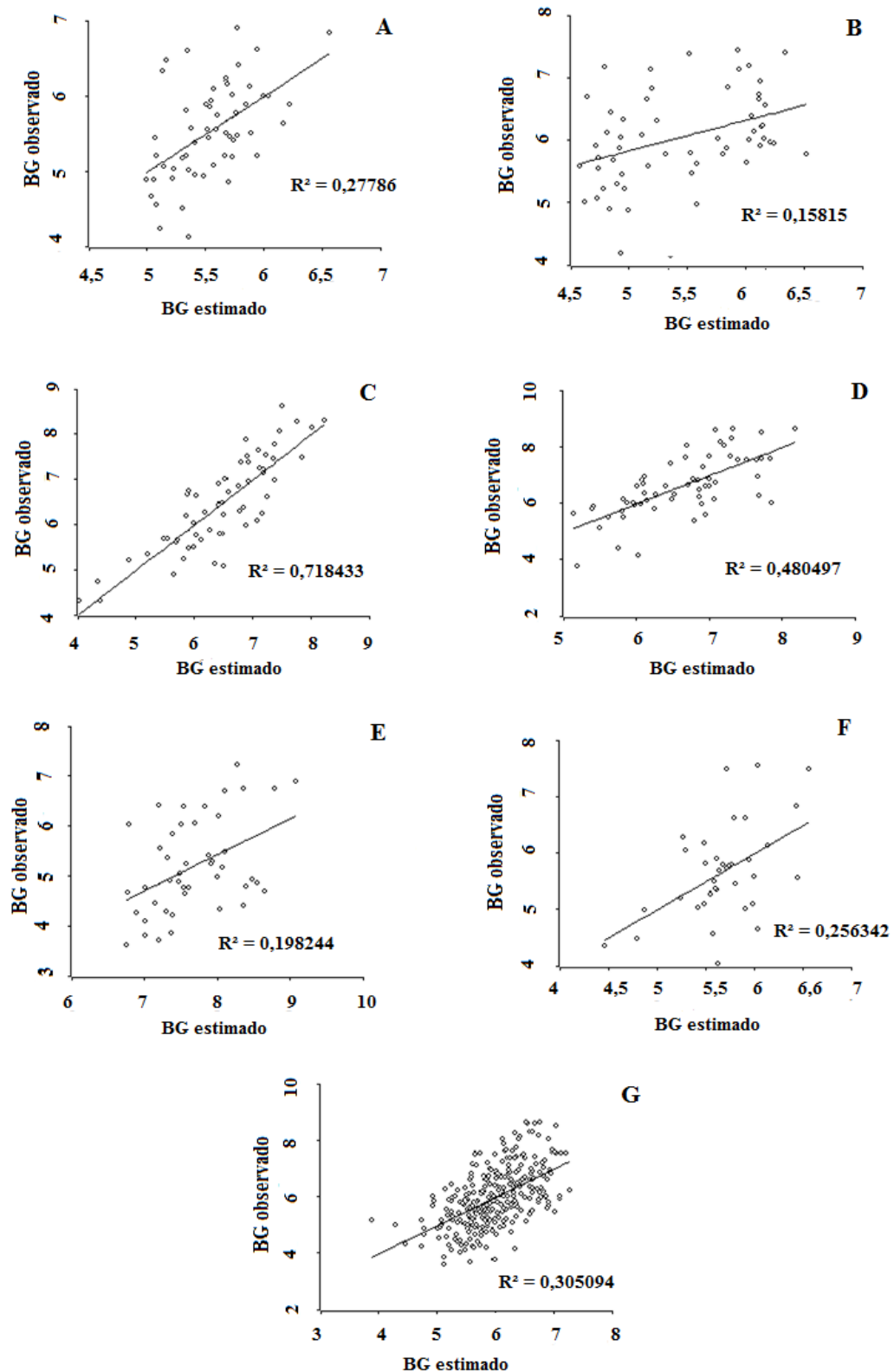


FIGURA 6. Regressões múltiplas entre o conteúdo de beta-glicana e as características explicativas significativas por ambientes de teste: A) Eldorado do Sul, 2010, 1ª época de semeadura; B) Eldorado do Sul, 2010, 2ª época de semeadura; C) Eldorado do Sul, 2011, 1ª época de semeadura; D) Eldorado do Sul, 2011, 2ª época de semeadura; E) Cruz Alta, 2010; F) Vacaria, 2010; G) Todos os ambientes de teste.

TABELA 5. Análise da regressão linear múltipla entre o conteúdo de beta-glicana dos grãos (variável dependente) e os diferentes caracteres agronômicos, químicos e físicos dos grãos (variáveis explicativas).

| Local<br>Ano<br>Epoca           | Eld        |                             |          |                |          |                |          |                | CA       |                | Vac      |                | Todos ambientes |                |
|---------------------------------|------------|-----------------------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|-----------------|----------------|
|                                 | 2010       |                             |          |                | 2011     |                |          |                | 2010     |                | 2010     |                |                 |                |
|                                 | 1          |                             | 2        |                | 1        |                | 2        |                |          |                |          |                |                 |                |
| Estimativas                     | <i>b</i> * | Prob. <i>T</i> <sup>§</sup> | <i>b</i> | Prob. <i>T</i> | <i>b</i> | Prob. <i>T</i> | <i>b</i> | Prob. <i>T</i> | <i>b</i> | Prob. <i>T</i> | <i>b</i> | Prob. <i>T</i> | <i>b</i>        | Prob. <i>T</i> |
| Rend                            | ns         |                             | 0,39768  | 0,0024         | 0,23766  | 0,0256         | ns       |                | ns       |                | ns       |                | 0,21624         | 0,0008         |
| PH                              | -0,30663   | 0,0118                      | ns       |                | ns       |                | ns       |                | ns       |                | -0,30174 | 0,0605         | -0,22475        | 0,0015         |
| MMG                             | ns         |                             | ns       |                | 0,30902  | 0,0063         | 0,42739  | 0,0046         | ns       |                | ns       |                | ns              |                |
| DEF                             | ns         |                             | ns       |                | -0,22457 | 0,0484         | -0,273   | 0,0275         | ns       |                | ns       |                | -0,26201        | <.0001         |
| CARB                            | ns         |                             | ns       |                | -502,238 | 0,0001         | -21,608  | 0,0177         | ns       |                | ns       |                | ns              |                |
| PROT                            | ns         |                             | ns       |                | -292,613 | <.0001         | -13,479  | 0,0374         | ns       |                | ns       |                | ns              |                |
| LIP                             | ns         |                             | ns       |                | -21,733  | 0,0005         | -0,7382  | 0,0522         | ns       |                | ns       |                | -0,27456        | <.0001         |
| COMP                            | ns         |                             | ns       |                | 188,927  | 0,0011         | 238,402  | 0,0018         | 0,44525  | 0,0022         | ns       |                | ns              |                |
| LARG                            | ns         |                             | ns       |                | -149,917 | 0,0002         | ns       |                | ns       |                | ns       |                | ns              |                |
| PERIM                           | 0,39525    | 0,0014                      | ns       |                | -439,974 | <.0001         | -17,207  | 0,0164         | ns       |                | 0,45822  | 0,0067         | ns              |                |
| AREA                            | ns         |                             | ns       |                | 365,104  | <.0001         | ns       |                | ns       |                | ns       |                | ns              |                |
| CIRC                            | ns         |                             | ns       |                | ns       |                | 0,4998   | 0,0254         | ns       |                | 0,31527  | 0,0546         | -0,15416        | 0,013          |
| ASH                             |            |                             |          |                | -0,38262 | 0,0431         |          |                | ns       |                |          |                | 0,15821         | 0,0018         |
| R <sup>2</sup>                  | 0,278      |                             | 0,158    |                | 0,718    |                | 0,480    |                | 0,198    |                | 0,256    |                | 0,283           |                |
| Prob do modelo reg <sup>†</sup> | 0,000      |                             | 0,002    |                | 0,000    |                | 0,000    |                | 0,002    |                | 0,019    |                | 0,000           |                |

\* coeficiente de determinação de cada variável explicativa.

§ Nível de significância do coeficiente de determinação, estimado pelo teste *T* de Student.

† Nível de significância do modelo de regressão, pelo teste *F*, estimado através da análise variância da regressão.

### 4.3 Análise da estabilidade da expressão do conteúdo de beta-glicana dos grãos

A beta-glicana apresentou uma variação dependente do ambiente de cultivo, representados neste trabalho pelo local e época de plantio, mas o genótipo apresenta efeito significativo nas diferenças observadas nas médias de BG. Para entender melhor o papel do genótipo no conteúdo de beta-glicana foram calculados os índices ambientais para verificação da estabilidade dos genótipos frente aos diferentes ambientes.

A regressão linear dos dados do conteúdo de BG de cada genótipo (Figura 7), ou seja, o valor do coeficiente de regressão “*b*” indica a adaptabilidade dos genótipos. Tendo como  $H_0: b=1$ , genótipos com “*b*” igual a 1 são mais estáveis agronomicamente, pois melhoram a média do caráter com a melhoria do ambiente. Quando *b* não é significativamente diferente de zero, indica que a média do caráter não melhora com a melhoria do ambiente. De qualquer maneira o ideal é que a média seja sempre a mais alta possível. Os dados dessa análise estão na Tabela 6.

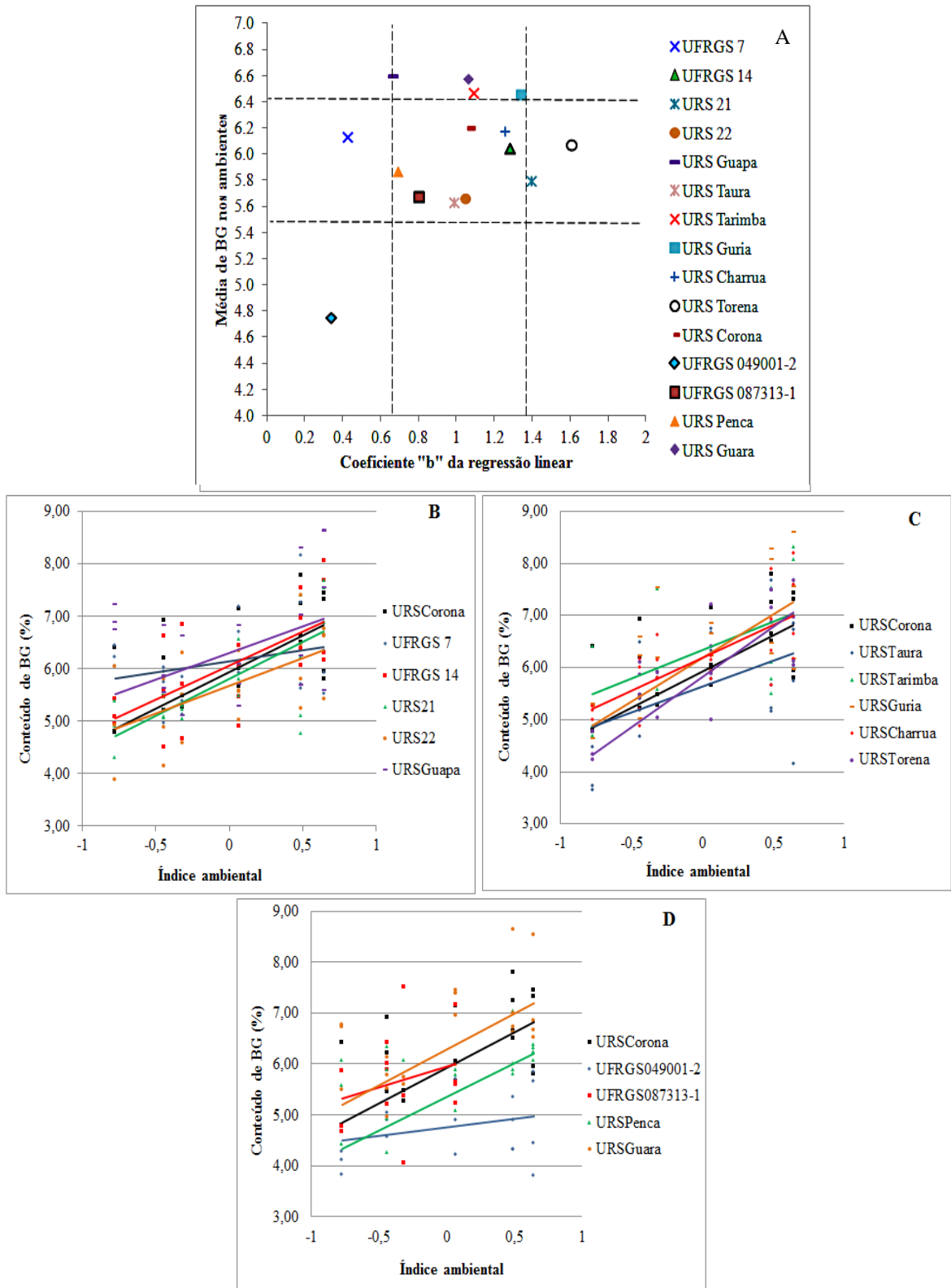


FIGURA 7. Análises da estabilidade do conteúdo de beta-glicana dos grãos em diferentes genótipos de aveia, testados em diferentes ambientes. A) Associação entre o conteúdo médio de beta-glicana e o coeficiente de regressão linear ( $b$ ) entre o conteúdo de beta-glicana e o índice ambiental. B,C e D) Regressões lineares entre o conteúdo de beta-glicana de diferentes genótipos de aveia e o índice ambiental

Os desvios da regressão ( $S_d^2$ ) medem a estabilidade do genótipo, ou seja, desvios elevados e diferentes de zero são indicativos que o genótipo não é estável em relação à expressão do caráter.

TABELA 6. Parâmetros de estabilidade da expressão do conteúdo de beta-glicana em diferentes genótipos de aveia.

| Genótipo         | BG   | Intercepto | "b"   | Test $T$<br>b=1 | Test $T$<br>b=0 | $S_d^2$ | Teste $F$<br>Regr | $R^2$ |
|------------------|------|------------|-------|-----------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| 1 UFRGS 049001-2 | 4,75 | 4,75       | 0,343 | 0,0146          | 0,1775          | 0,15843 | 0,705             | 0,089 |
| 2 UFRGS 087313-1 | 5,67 | 5,95       | 0,807 | 0,8189          | 0,3473          | 0,69102 | 0,246             | 0,074 |
| 3 UFRGS 14       | 6,05 | 6,06       | 1,287 | 0,3755          | 0,0006          | 0,37961 | 0,463             | 0,452 |
| 4 UFRGS 7        | 6,13 | 6,14       | 0,428 | 0,0777          | 0,1792          | 0,34721 | 0,495             | 0,088 |
| 5 URS 21         | 5,79 | 5,81       | 1,400 | 0,1780          | 0,0000          | 0,27854 | 0,567             | 0,544 |
| 6 URS 22         | 5,66 | 5,67       | 1,050 | 0,8714          | 0,0026          | 0,33919 | 0,503             | 0,372 |
| 7 URS Charrua    | 6,17 | 6,19       | 1,263 | 0,3349          | 0,0001          | 0,21544 | 0,531             | 0,530 |
| 8 URS Corona     | 6,19 | 6,19       | 1,062 | 0,8397          | 0,0024          | 0,32527 | 0,517             | 0,392 |
| 9 URS Guapa      | 6,59 | 6,59       | 0,666 | 0,4586          | 0,1478          | 0,88095 | 0,147             | 0,107 |
| 10 URS Guará     | 6,57 | 6,57       | 1,064 | 0,8524          | 0,0052          | 0,44123 | 0,407             | 0,344 |
| 11 URS Guria     | 6,46 | 6,45       | 1,341 | 0,3547          | 0,0014          | 0,52493 | 0,339             | 0,423 |
| 12 URS Penca     | 5,87 | 5,86       | 0,694 | 0,3172          | 0,0317          | 0,29644 | 0,548             | 0,232 |
| 13 URS Tarimba   | 6,46 | 6,33       | 1,096 | 0,8528          | 0,0526          | 0,95319 | 0,123             | 0,300 |
| 14 URS Taura     | 5,63 | 5,64       | 0,992 | 0,9842          | 0,0225          | 0,71322 | 0,220             | 0,234 |
| 15 URS Torena    | 6,07 | 6,07       | 1,609 | 0,0385          | 0,0118          | 0,23262 | 0,618             | 0,645 |

BG = médias observadas de beta-glicana; "b" = o coeficiente de regressão; Test  $T$  b=1  probabilidade de que o coeficiente da regressão seja igual a um, pelo teste  $T$  de Student; Test  $T$  b=0  probabilidade de que o coeficiente da regressão seja igual a zero, pelo teste  $T$  de Student;  $S_d^2$  = desvios da regressão; Teste  $F$  = probabilidade que a regressão linear seja significativa, pelo teste  $F$  da análise de variância;  $R^2$  = coeficiente de determinao da regressão linear.

A regressão linear mede a mudança do conteudo de BG com a mudança do ambiente, através dos valores do ndice ambiental, e o valor de  $R^2$  mede o quanto a regressão linear explica a variao observada para o conteudo de BG. Logo valores baixos de  $R^2$  baixo não significam que o genotipo não  estável. O  $R^2$  deve ser avaliado em conjunto com o valor de "b", ou seja, se "b"  zero  possível que o coeficiente de determinao ( $R^2$ ) também seja zero, indicando que os dados tem uma distribuo sem qualquer tendência de associao com a mudança da média do caráter, na mdia de todos os genotipos, nos diferentes ambientes, representado pelo ndice ambiental. Caso "b" seja



igual a zero, mas  $R^2$  seja elevado, significa que o caractere não muda conforme a mudança do ambiente. No genótipo ideal, com “ $b$ ” = 1 e média elevada, o  $R^2$  deveria ser o mais próximo de 1 possível, indicando que é possível prever que a melhoria no ambiente vai resultar em aumento de BG neste genótipo específico, o que ainda é reforçado por uma soma de desvios baixa e não diferente de zero. A beta-glicana parece ser um caráter pouco estável, mas a estabilidade varia entre os genótipos, onde alguns dependem mais que os outros do favorecimento do ambiente.

Os genótipos que apresentaram os valores de “ $b$ ” mais próximos de 1 foram UFRGS 14 (1,287), URS 21 (1,4), URS Charrua(1,263), URS Guria (1,341) e URS Torena (1,609). Estes genótipos tenderam a ser os mais estáveis em todos os ambientes, elevando suas médias com a melhoria do mesmo, mas não necessariamente obtendo as médias mais elevadas. Já os genótipos que apresentaram os valores de “ $b$ ” mais próximos de zero foram UFRGS 049001-2 (0,343), UFRGS 7 (0,428) e URS Guapa (0,666).

Nenhum dos desvios calculados foi estatisticamente diferente de zero. Porém alguns para desvios da regressão,  $Sd^2$ , os genótipos se mostraram mais instáveis, ou seja, com altos desvios. Estes genótipos foram UFRGS 087313-1 (0,69102), URS Guapa (0,88095), URS Tarimba (0,95319) e URS Taura (0,71322). Já os mais estáveis foram UFRGS 049001-2 (0,15843), URS Charrua (0,21544) e URS Torena (0,23262). A estabilidade pode também ser para valores baixos em todos ambientes, como é o caso da linhagem UFRGS 049001-2, uma linhagem de aveia nuda.

O  $R^2$  permite verificar se os genótipos possuem um comportamento estável ou de resposta ao ambiente quando avaliado conjuntamente aos valores de “ $b$ ”. Os genótipos com valores mais altos para  $R^2$  foram UFRGS 21 (0,544), URS Charrua (0,530) e URS Torena (0,645). Já os genótipos com valores mais baixos para  $R^2$  foram UFRGS 049001-2 (0,089), UFRGS 087313-1 (0,074), UFRGS 7 (0,088), URS Guapa (0,107).

Percebendo estes valores é possível separar alguns genótipos quanto ao comportamento do carácter conteúdo de beta-glicana. O genótipo URS Guapa possui  $R^2$  baixo, “ $b$ ” próximo, mas diferente de 0 e  $Sd^2$  alto, logo sua distribuição é dispersa da linha de regressão, sua média pode ser alta, mas sofre muita variação do ambiente. O genótipo URS Torena possui  $R^2$  alto e “ $b$ ” maior que 1 logo trata-se de um genótipo que eleva sua média em ambientes melhores, os valores são próximos à média visto o baixo  $Sd^2$  da cultivar, mas também pode vir a piorar a sua média em ambientes desfavoráveis.

#### 4.4 Análise da expressão do conteúdo de beta-glicana dos grãos em diferentes ambientes

A beta-glicana é uma característica complexa, sujeita a variações no seu conteúdo devido aos efeitos do ambiente. O modelo de análise de variância proposto para o presente estudo segue na Tabela 7.

TABELA 7. Análise da variância do conteúdo de beta-glicana dos grãos.

| Fonte de variação | GL  | SQ          | QM          | Teste F | Pr > F |
|-------------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| <b>Amb</b>        | 5   | 78,05230387 | 15,61046077 | 25,46   | <,0001 |
| <b>Rep(Amb)</b>   | 16  | 6,45166831  | 0,40322927  | 0,66    | 0,833  |
| <b>Gen</b>        | 14  | 59,43182244 | 4,24513017  | 6,92    | <,0001 |
| <b>Amb*Gen</b>    | 66  | 44,65038981 | 0,67652106  | 1,1     | 0,2986 |
| <b>Erro</b>       | 204 | 125,07574   | 0,6131164   |         |        |

\* $R^2 = 0,611166$ . GL, graus de liberdade. SQ, soma de quadrados. QM, quadrado médio. Teste F, valor do teste F. Pr > F, probabilidade do teste F ( $p < 0,05$ ).

A análise de variância do conteúdo de beta-glicana mostrou que o efeito dos genótipos é significativo na expressão desta característica. A interação com o ambiente não foi significativa. Os valores das médias e diferenças estatísticas foram estimadas avaliando o modelo completo com todos os ambientes (Figura 8). É possível verificar a existência de três grupos quanto ao conteúdo de BG. Em um grupo superior encontramos os genótipos URS Guapa, URS Guará, URS Guria e URS Tarimba. Apesar desta diferenciação os

conteúdos médios são considerados de bons a altos quando comparados com dados da literatura consultada.

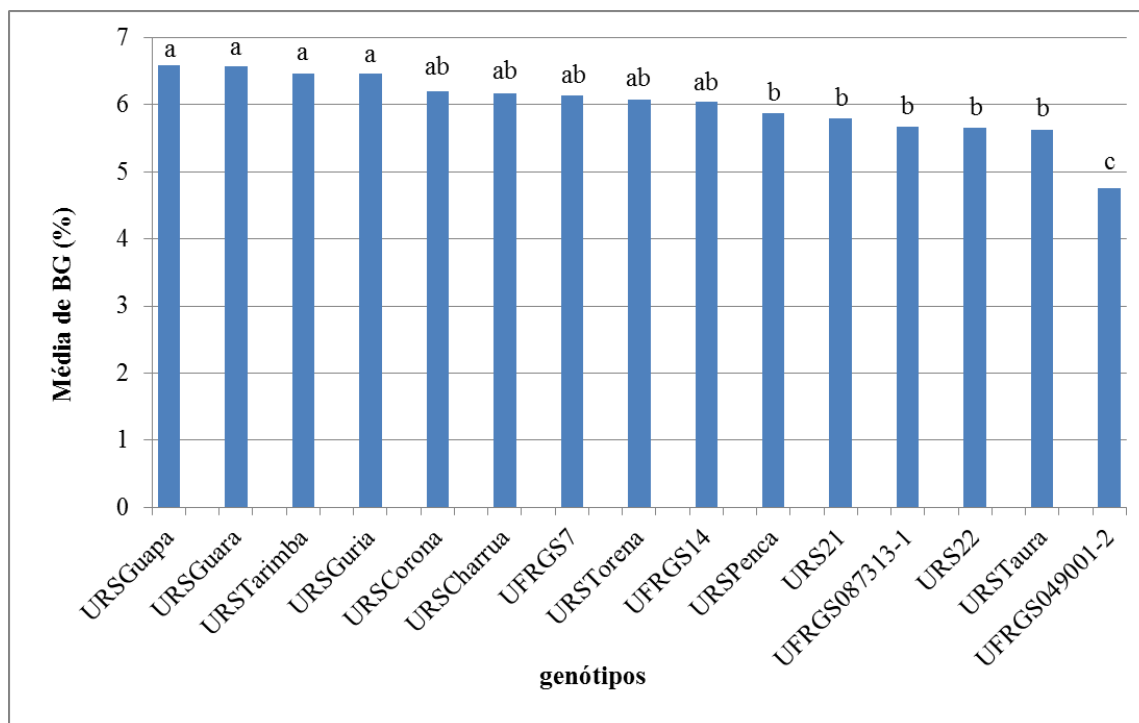


FIGURA 8. Conteúdo médio de beta-glicana de cada genótipo avaliado na média dos seis ambientes de teste. Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando o conteúdo médio de beta-glicana nos diferentes ambientes de teste verifica-se que o ambiente Eldorado em 2011 na segunda época apresentou o valor mais alto, juntamente com a primeira época do mesmo ano e local (Figura 8). O ano de 2011, em Eldorado na estação experimental agrônômica da UFRGS foi muito bom para o desenvolvimento da cultura. Neste ano a pressão de doença foi muito pequena e, no período compreendido entre o florescimento e o enchimento de grãos, a cultura não enfrentou problemas com estresse hídrico.

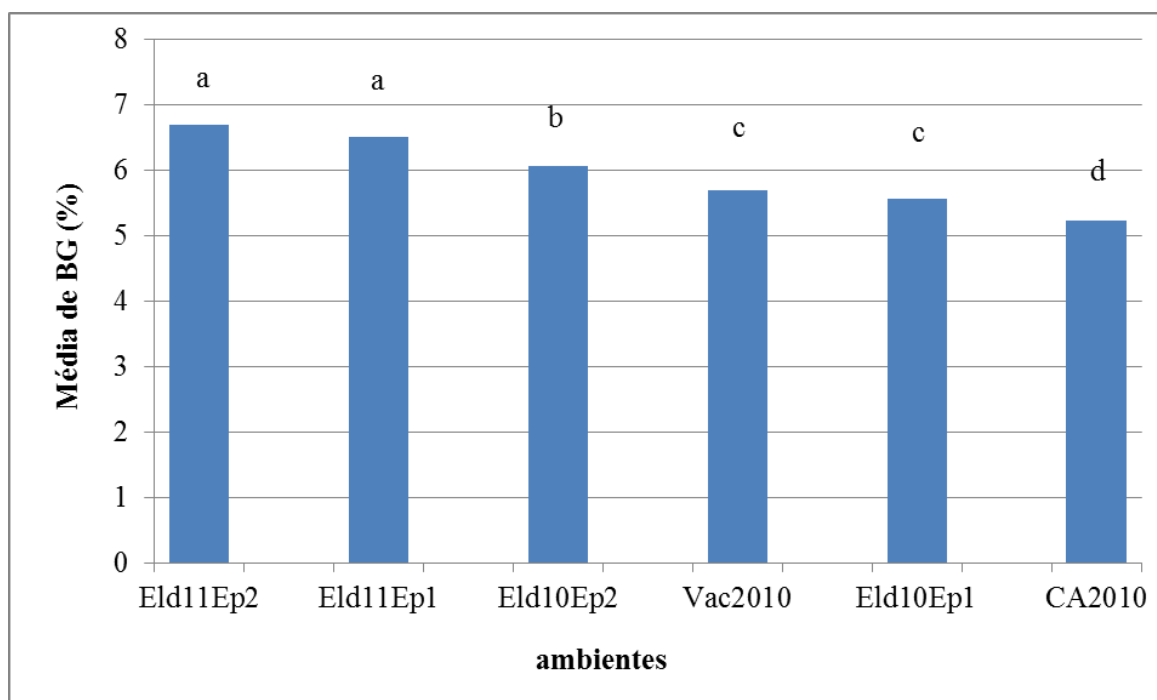


FIGURA 9. Conteúdo médio de beta-glicana em cada ambiente de teste. Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 8 é possível ver o comportamento dos materiais quanto ao seu conteúdo de beta-glicana frente os diferentes ambientes. É possível destacar alguns materiais que se mostraram superiores, ou seja, com valor de conteúdo médio um desvio padrão maior que a média do ambiente, assim como materiais que se mostraram inferiores, com valor de conteúdo médio um desvio padrão abaixo da média. Novamente os genótipos URS Guapa, URS Guará e URS Guria se mostram superiores ou muito próximos disso, quando comparados os seus valores médios com o valor de um desvio acima da média do ambiente. URS Torena, URS Corona e UFRGS 7, se mostraram superiores em somente um ambiente. UFRGS 049001-2, uma cultivar nuda, é considerada como inferior em todos os ambientes testados. URS 21, URS 22 e URS Taura se mostraram inferiores em poucos ambientes.

TABELA 8. Conteúdo de beta-glicana nos grãos de aveia em diferentes genótipos e ambientes de teste.

| <b>Genótipos</b>   | <b>CA2010</b> |                | <b>Eld10Ep1</b> |   | <b>Eld10Ep2</b> |   | <b>Eld11Ep1</b> |   | <b>Eld11Ep2</b> |   | <b>Vac2010</b> |   | <b>Média Geral</b> |   |
|--------------------|---------------|----------------|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|----------------|---|--------------------|---|
| UFRGS049001-2      | 4,07          | I <sup>†</sup> | 4,93            | I | 5,01            | I | 4,72            | I | 4,94            | I | 4,63           | I | 4,75               | I |
| UFRGS087313-1      | 5,11          |                | 5,88            | S | 5,91            |   | x               |   | x               |   | 5,65           |   | 5,67               |   |
| UFRGS14            | 5,15          |                | 5,57            |   | 5,72            |   | 6,74            |   | 7,06            |   | 5,74           |   | 6,05               |   |
| UFRGS7             | 6,24          | S <sup>ψ</sup> | 5,67            |   | 6,49            |   | 6,70            |   | 6,11            |   | 5,45           |   | 6,13               |   |
| URS21              | 4,86          |                | 5,22            | I | 5,98            |   | 5,88            |   | 7,25            |   | 5,19           |   | 5,79               |   |
| URS22              | 4,95          |                | 5,08            | I | 5,63            |   | 6,23            |   | 6,36            |   | 5,47           |   | 5,66               |   |
| URScharrua         | 5,15          |                | 5,56            |   | 6,03            |   | 6,70            |   | 7,15            |   | 6,20           |   | 6,17               |   |
| URSCorona          | 5,33          |                | 5,95            | S | 6,21            |   | 7,05            |   | 6,63            |   | 5,38           |   | 6,19               |   |
| URSGuapa           | 6,97          | S              | 5,99            | S | 6,00            |   | 6,83            |   | 7,62            | S | 5,88           |   | 6,59               | S |
| URSGuará           | 6,33          | S              | 5,60            |   | 6,95            | S | 7,25            | S | 7,15            |   | 5,67           |   | 6,57               | S |
| URSGuria           | 5,08          |                | 5,84            |   | 6,44            |   | 7,29            | S | 7,09            |   | 6,88           | S | 6,46               |   |
| URSPenca           | 5,36          |                | 5,35            |   | 6,04            |   | 6,18            |   | 6,25            |   | 6,06           |   | 5,87               |   |
| URSTarimba         | 5,32          |                | x               |   | x               |   | 6,23            |   | 7,51            | S | 6,54           | S | 6,46               |   |
| URSTaura           | 3,95          | I              | 5,43            |   | 6,38            |   | 5,93            |   | 5,87            | I | 5,84           |   | 5,63               |   |
| URSTorena          | 4,45          |                | 5,72            |   | 6,12            |   | 7,25            | S | 6,70            |   | 5,47           |   | 6,07               |   |
| <b>Média Geral</b> | <b>5,22</b>   |                | <b>5,56</b>     |   | <b>6,06</b>     |   | <b>6,50</b>     |   | <b>6,69</b>     |   | <b>5,68</b>    |   | <b>5,99</b>        |   |
| Desvio Padrão      | 0,807         |                | 0,324           |   | 0,454           |   | 0,702           |   | 0,730           |   | 0,548          |   | 0,477              |   |
| Média - 1DP        | 4,41          |                | 5,23            |   | 5,61            |   | 5,80            |   | 5,96            |   | 5,13           |   | 5,52               |   |
| Média +1DP         | 6,03          |                | 5,88            |   | 6,52            |   | 7,20            |   | 7,42            |   | 6,23           |   | 6,47               |   |

† Conteúdo de BG com um desvio padrão abaixo da média.

ψ Conteúdo de BG com um desvio padrão acima da média.

x Dados faltantes.

A análise de variância do conteúdo de beta-glicana considerando somente o local Eldorado e os quatro ambientes nele testados (Eld10Ep1, Eld10Ep2, Eld11Ep1 e Eld11Ep2). Nesta análise podemos verificar o efeito da época de plantio, que foi significativa sobre a expressão da característica, assim como o efeito de genótipo e o efeito do ano de teste. Nenhuma interação foi significativa.

TABELA 9. Análise da variância do conteúdo de beta-glicana dos grãos considerando somente os ambientes de Eldorado do Sul.

| Fonte de variação     | GL  | SQ      | QM      | Teste F | Pr > F |
|-----------------------|-----|---------|---------|---------|--------|
| <b>Ano</b>            | 1   | 30,9387 | 30,9387 | 48,73   | <,0001 |
| <b>Epoca</b>          | 1   | 7,17968 | 7,17968 | 11,31   | 0,001  |
| <b>Ano*Epoca</b>      | 1   | 2,45993 | 2,45993 | 3,87    | 0,0508 |
| <b>Rep(Ano*Epoca)</b> | 12  | 6,25479 | 0,52123 | 0,82    | 0,6286 |
| <b>Gen</b>            | 14  | 45,8546 | 3,27533 | 5,16    | <,0001 |
| <b>Ano*Gen</b>        | 12  | 10,0477 | 0,83731 | 1,32    | 0,2127 |
| <b>Epoca*Gen</b>      | 14  | 7,43323 | 0,53094 | 0,84    | 0,629  |
| <b>Ano*Epoca*Gen</b>  | 12  | 6,23141 | 0,51928 | 0,82    | 0,6317 |
| <b>Erro</b>           | 156 | 99,0389 | 0,63486 |         |        |

\*R<sup>2</sup> = 0,54513. GL, graus de liberdade. SQ, soma de quadrados. QM, quadrado médio. Teste F, valor do teste F. Pr > F, probabilidade do teste F (p < 0,05).

Avaliando o conteúdo médio de beta-glicana somente no local Eldorado, onde duas época de plantio foram testadas, observamos uma maior diferenciação estatística nos valores das médias dos genótipos (Figura 10). Aqui vale salientar que, novamente, genótipos como URS Tarimba, URS Guará, URS Guria e URS Guapa. Assim como na Figura 8 e na Tabela 9, onde todos os ambientes estão presentes no teste, verificamos que os genótipos que se destacam são praticamente os mesmos, ou seja, os genótipos com valores médios elevados de beta-glicana apresentam esse comportamento quando testados frente à diversos ambientes. Aparentemente o componente genético do caráter é importante e independente das condições do ambiente.

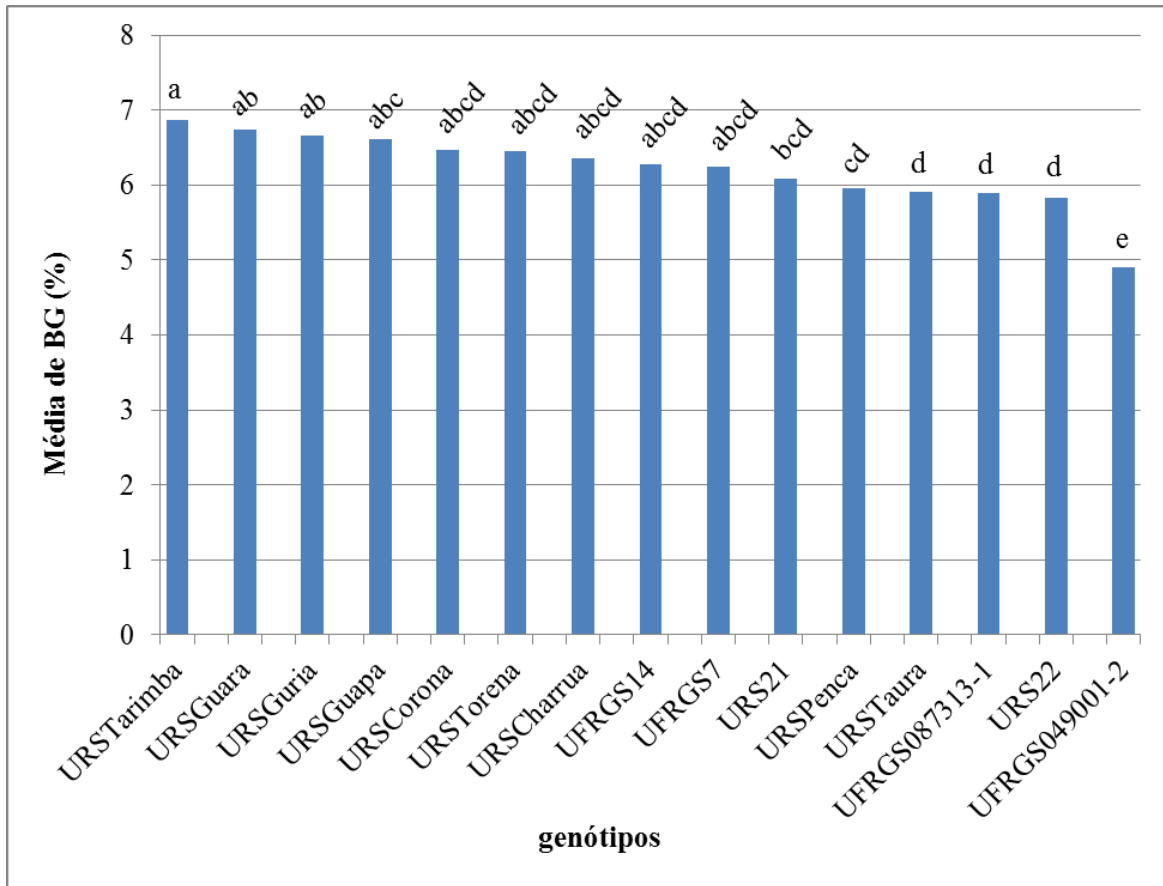


FIGURA 10. Conteúdo médio de beta-glicana nos ambientes de Eldorado do Sul. Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

O valor médio do conteúdo de beta-glicana do ano de 2011 foi superior ao do ano de 2010, no local Eldorado do Sul. O ano de 2011 foi um ano mais favorável para o desenvolvimento da aveia de uma forma geral, ou seja, neste ano não só os conteúdos de beta-glicana foram mais elevados como os valores de rendimento e peso do hectolitro (Figura 11). A cultura pode expressar seu potencial apresentando valores mais altos para características complexas (Figura 2). O ano de 2010 foi um ano extremamente favorável ao desenvolvimento de doenças. A ferrugem não foi eficientemente controlada, afetando a expressão de diversas características dos materiais. O clima também foi seco no período do enchimento dos grãos.

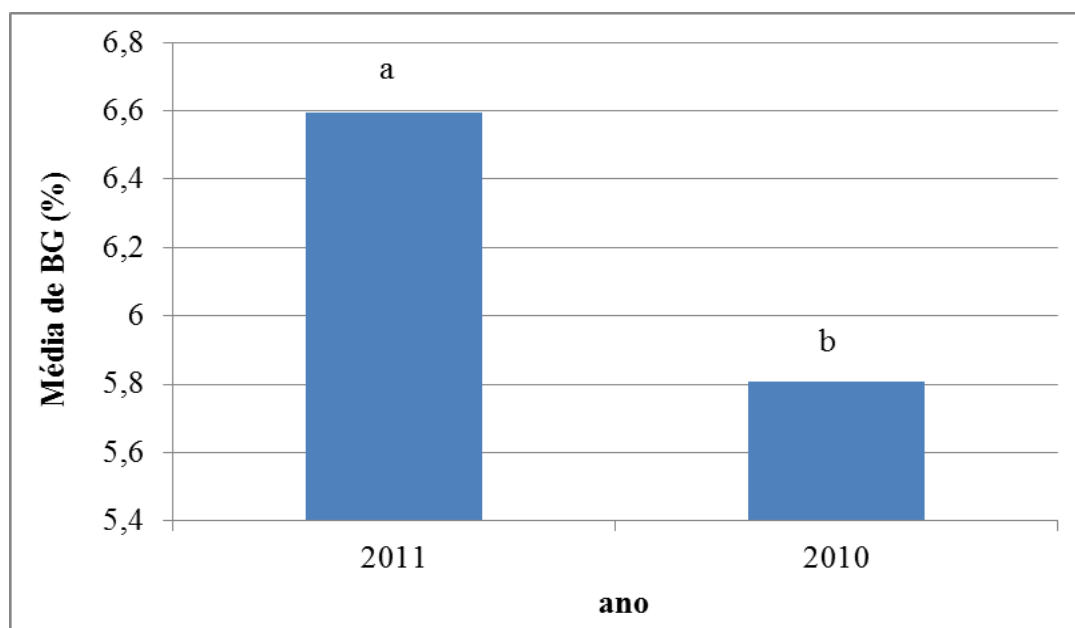


FIGURA 11. Conteúdo médio de beta-glicana em Eldorado do Sul nos anos de 2010 e 2011. Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito da época de plantio foi significativo sobre o conteúdo de beta-glicana em Eldorado, sendo que o conteúdo médio do caráter foi mais elevado na segunda época (Figura 12). O período de enchimento de grãos na primeira época é mais favorável ao desenvolvimento de doenças de folha na cultura da aveia podendo ser este um dos fatores limitantes para a cultura. Porém estes dados não foram coletados e não pode-se afirmar com certeza o motivo desta diferença entre épocas. As médias foram estatisticamente diferentes, mas em números a diferença foi próxima a 0,34%. O número de ambientes onde o efeito da época foi testada não passou de quatro e essa pequena quantidade de ambientes pode estar mascarando o efeito visualizado.



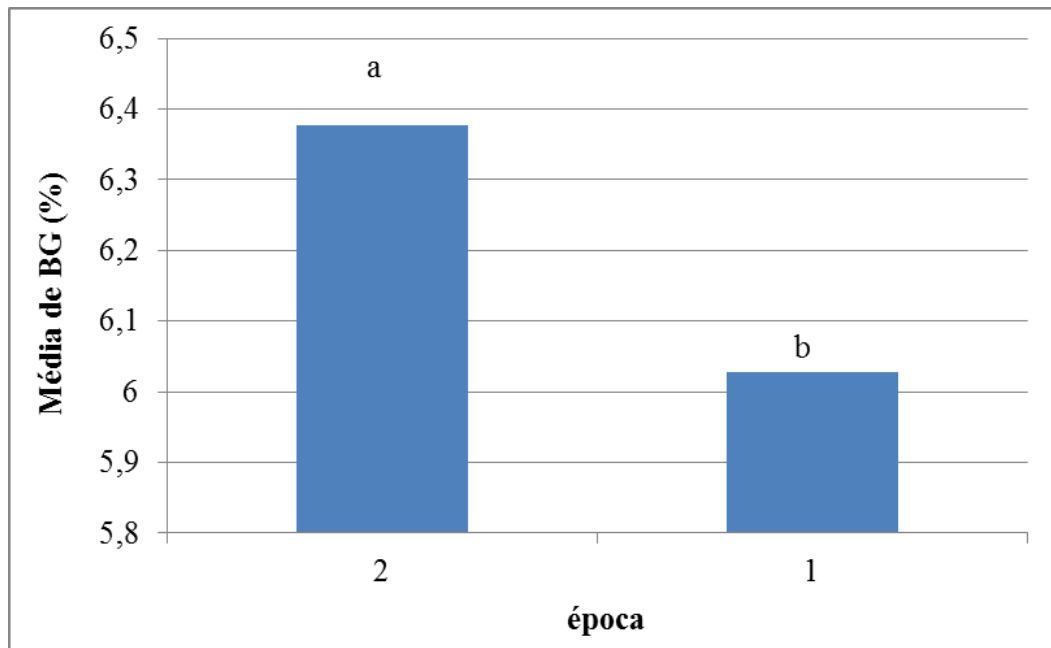


FIGURA 12. Conteúdo médio de beta-glicana em Eldorado do Sul para as duas épocas de plantio. Médias assinaladas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo teste de comparação de médias de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

## 5 DISCUSSÃO

Os conteúdos de beta-glicana encontrados nos genótipos de aveia do programa de melhoramento da UFRGS foram muito semelhantes. Os valores ficaram em torno de 5% a 6,5%, conteúdos considerados bons, de acordo com a literatura (Wood *et al.*, 1991). Considerando um consumo diário de 6 g de beta-glicana como ideal para trazer benefícios à saúde (Wood, 2007; FDA, 2001), alimentos processados com os materiais de aveia branca da UFRGS atingem este patamar com um consumo diário de 90 a 120 gramas.

O ano de 2010 foi um ano muito favorável ao desenvolvimento de ferrugem da folha, uma das principais doenças da cultura da aveia. O desenvolvimento da doença não foi controlado de maneira eficaz, refletindo nos resultados de rendimento de grãos e outros caracteres agronômicos.

Os genótipos com menores conteúdos de beta-glicana foram UFRGS 049001-2 e UFRGS 087313-1 (Figura 8). O primeiro, UFRGS 049001-2, que foi o genótipo de menor conteúdo médio de beta-glicana (4,75%) (Tabela 6), é uma aveia nuda, de genealogia desconhecida (Tabela 1), mas que deve descender de UFRGS 10 ou de UFRGS 8, em virtude de serem os genótipos da UFRGS, que na época do seu desenvolvimento, foram cruzados com fontes de germoplasma nuda (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal); caso fosse descendente de UFRGS 10, seria parente de URS 21 (Tabela 1), que também teve conteúdo de beta-glicana relativamente baixo (5,79%) (Tabela 6 e Figura 8), caso fosse descendente de UFRGS 8, não teria parentesco conhecido com qualquer dos genótipos testados. De acordo com a revisão organizada por Loskutov (2008), embora a

aveia nuda pertença à mesma espécie da aveia com casca hexaplóide (*Avena sativa*), forma outra subespécie (*Avena sativa* subsp. *nudasativa*), originária da Mongólia e da região montanhosa do noroeste da China, sendo conhecidos relatos de sua existência desde o século V D.C. Desta forma, é esperado que o germoplasma nuda contenha grandes diferenças genéticas em relação ao germoplasma de aveia hexaplóide com casca. Uma vez que, neste trabalho, foi avaliada somente uma linhagem nuda, não é possível inferir que germoplasma nuda seja mais pobre em conteúdo de beta-glicana que germoplasma com casca, porém, é um indício que semelhanças e diferenças acentuadas no conteúdo de beta-glicana dos grãos podem ter uma base genética também forte. O outro genótipo de baixo conteúdo de beta-glicana, UFRGS 087313-1, foi escolhido por ter grãos finos e não ter parentesco com as demais cultivares da UFRGS (Tabela 1). A falta de parentesco direto reforça a ideia de que conteúdo de beta-glicana tem uma base genética, porém o motivo de seu baixo conteúdo de beta-glicana pode estar baseado na associação com outros caracteres. Neste sentido, UFRGS 087313-1 foi o genótipo com o ciclo mais longo, com 101 dias da emergência ao florescimento e com maior conteúdo de lipídios (7,88%), na média dos ambientes. O conteúdo de beta-glicana foi negativamente correlacionado com o número de dias da emergência ao florescimento e com o conteúdo de lipídios, quando considerados todos os genótipos testados neste trabalho (Quadro 1).

As demais cultivares, com exceção de UFRGS 7, apresentam algum nível de parentesco entre si, quando analisado o parentesco de seus genitores (dados não apresentados). URS Corona e URS Guará são cultivares oriundas do mesmo cruzamento e mostram alguma diferença nos seu conteúdo de beta-glicana na média dos ambientes de teste (Figura 8), embora não significativa. Por outro lado, as duas cultivares de maior conteúdo de beta-glicana, na média de todos os ambientes, foram URS Guapa e URS Guará, sendo que neste caso URS Guará descende de uma linhagem irmã de URS Guapa (UFRGS 987016-1). URS Taura e UFRGS 14 são relacionadas através do genitor UFRGS

970461, o qual descende do cruzamento UFRGS 15 / UFRGS 14, sendo que UFRGS 14 e UFRGS 15 tem um genitor em comum, portanto é esperado que UFRGS 14 e URS Taura sejam próximas geneticamente, como demonstrado por Tinker et al. (2009). Esses autores encontraram, através de marcadores moleculares do tipo DArT que URS Taura é ainda mais próxima geneticamente de URS 22, e ambas são aparentadas, quando analisada sua genealogia.

O componente ambiental, por outro lado, parece ser muito importante, como pode ser verificado na Figura 7, onde o mesmo genótipo pode apresentar desde um valor muito baixo de beta-glicana até um valor bastante elevado, como exemplificado por URS 21. É interessante notar que a análise da variância conjunta, envolvendo todos os ambientes de teste (Tabela 7), não detectou interação significativa entre ambiente e genótipos, mostrando que o efeito do genótipo parece ser importante na expressão do caráter.

O controle genético da beta-glicana é fortemente associado, em estudos, a genes da família *CslF*, os quais participam na síntese de polissacarídeos em gramíneas (Bennetzen, 2007; Burton, et al. 2006; Burton et al., 2008; Christensen & Scheller, 2012; Cory et al., 2012; Fincher, 2009; Kianian, et al., 2000; Newell, 2011; Taketa et al., 2011). Estudos destes genes em cevada e outras gramíneas mostraram que a posição deles no genoma é conservada entre diferentes espécies de gramíneas, como arroz, cevada, sorgo, *Brachypodium* e aveia. A existência de polimorfismos de um único nucleotídeo (SNP's), possibilidade de uso destes como marcadores moleculares. O fato de se encontrarem em regiões sintênicas e conservadas do genoma, levam os cientistas a acreditar que a seleção de genótipos com elevado conteúdo de beta-glicana poderia ser simples. Na teoria esses genes estão localizados muito próximos no genoma, logo a seleção de QTL's para essa característica parece ser uma alternativa interessante para os melhoristas. Acumular os melhores alelos para o conteúdo de beta-glicana é uma saída para evitar o efeito, em certos momentos, indesejado do ambiente. O efeito do genótipo na expressão do caráter deve ser

aumentado, visto que o efeito do ambiente também pode ser significativo na expressão do caráter.

A associação com outras características agronômicas e nutricionais é também complexa e variável. No presente estudo diversas correlações foram demonstradas (Quadro 1), onde é possível verificar as associações entre as diferentes características avaliadas. Não foi encontrada correlação significativa do conteúdo de beta-glicana com o rendimento e a massa de mil grãos neste estudo, já no trabalho de Chernyshova *et al.* (2007) e Crestani *et al.* (2010), a correlação com rendimento foi positiva. Por outro lado o peso do hectolitro dos grãos teve uma correlação negativa com o conteúdo de beta-glicana, provavelmente por questão do formato dos grãos, uma vez que peso do hectolitro foi positivamente correlacionado com a circularidade dos grãos, pois se fosse por questão de grãos bem formados e cheios a massa de grãos também teria mostrado associação significativa com o conteúdo de beta-glicana dos grãos (Quadro 1).

Avaliando as medidas de formato dos grãos podemos tirar conclusões no sentido de que para se atingir conteúdos elevados de beta-glicana são necessários materiais com grãos grandes. As correlações de BG com perímetro, comprimento e largura foram positivas. A correlação com circularidade foi negativa, levando a ideia de que o grão deve ser maior em um dos sentidos. O comprimento do grão é o caráter de formato que deve ser aumentado para aumento do conteúdo de BG, visto que a largura está mais ligada ao enchimento adequado dos grãos, sendo que a largura dos grãos teve correlação positiva com rendimento e a massa de mil grãos, ambas de maior magnitude que a observada com o conteúdo de beta-glicana.

Analisando as características nutricionais, neste estudo não foi encontrada correlação significativa entre o conteúdo de beta-glicana e o conteúdo de proteínas dos grãos. Nos trabalhos de Peterson & Wood (1997) e Fan *et al.* (2009), a correlação com o teor de proteína foi positiva. Na correlação com conteúdo de lipídios nosso resultado

mostrou uma correlação negativa (-0,28) com o conteúdo de beta-glicana (Quadro 1). Já nos estudos de Weikai Yan & Judith Frégeau-Reid (2008) e de Peterson & Wood (1997) essa correlação entre lipídio e beta-glicana foi positiva. Essas divergências podem ser oriundas tanto de fatores experimentais, ambientais e de manejo das culturas. A relação entre os caracteres nutricionais entre si e com o ambiente é extremamente complexa. Novos estudos devem buscar esclarecer os efeitos e correlações entre estas características. Ambientes que favorecem o teor de proteína podem desfavorecer o de beta glicana, por exemplo, mas por outro lado se o genótipo tem alelos favoráveis para aumento do conteúdo de beta-glicana, este efeito pode ser minimizado. A interpretação dos dados da literatura quando comparados ao do presente estudo mostra que características influenciáveis pelo ambiente não apresentam correlações iguais em diferentes ambientes de teste e com diferentes genótipos.

O efeito do ambiente sobre a associação do conteúdo de beta-glicana e as demais características, agronômicas e de grão, tanto químicas como físicas, fica claro ao analisar as regressões múltiplas realizadas para cada ambiente, onde o conteúdo de beta-glicana foi considerado a variável resposta e as demais características as variáveis explicativas (Figura 6 e Tabela 5). Em alguns casos praticamente não foi detectado qualquer associação significativa, como em todos os ambientes de 2010 (Tabela 5), ano que o conteúdo médio de beta-glicana dos grãos foi significativamente menor (5,65%), comparado com 2011 (6,56%) (Figura 8). Já os resultados de 2011, quando a avaliação foi realizada apenas em Eldorado do Sul, revelaram regressões múltiplas onde várias variáveis explicativas foram associadas com o conteúdo de beta-glicana (Tabela 5), especialmente na primeira época de semeadura, onde a regressão linear foi capaz de explicar a maior parte da variação, com coeficiente de determinação igual a 0,78. A princípio, quando o ambiente é mais favorável a expressão de maior conteúdo de beta-glicana as suas associações com outros caracteres são mais facilmente detectadas. Por outro lado, na primeira época de semeadura em

Eldorado do Sul, 2011, onde foi encontrado o maior coeficiente de determinação da regressão linear múltipla, não foi verificada diferença na média do conteúdo de beta-glicana dos grãos, em relação à segunda época de semeadura, no mesmo local e ano (Figura 5).

O conteúdo de beta-glicana dos grãos parece responder à melhoria do ambiente, tendo em vista trabalhos que avaliaram diferentes doses e fontes de nitrogênio sobre o conteúdo de beta-glicana em aveia (Doehlert *et al.*, 2001; Mingshou *et al.*, 2009; Weightman *et al.*, 2004), assim como os dados do presente trabalho onde o ano de 2011 apresentou maiores conteúdos médios que o ano de 2010. No Reino Unido, Weightman *et al.* (2004) não detectaram diferenças no conteúdo de beta-glicana ou lipídios nos grãos de aveia, com diferentes doses e fontes de nitrogênio aplicado, porém detectaram forte associação positiva entre o aumento do rendimento de grãos e do conteúdo de beta-glicana; sendo que o rendimento claramente respondeu a uma melhoria do ambiente, então pode-se supor que a melhoria do ambiente afetou indiretamente o conteúdo de beta-glicana. Neste trabalho não foi encontrada associação entre conteúdo de beta-glicana e rendimento de grãos, o qual serve como uma medida da qualidade do ambiente, em termos de favorecer, ou não, o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Analisando a associação entre conteúdo de beta-glicana e rendimento de grãos em cada ambiente (análise não apresentada), foi encontrada associação fraca em somente dois ambientes, Eldorado do Sul 2010 - segunda época de semeadura e Eldorado do Sul 2011 – primeira época de semeadura, com coeficiente de determinação das regressões lineares simples iguais a 0,16 e 0,11, respectivamente.

Não sendo possível detectar facilmente causas ambientais, ou mesmo associações com outros caracteres, que expliquem as diferenças entre o conteúdo de beta-glicana dentro e entre genótipos, é importante estudar a estabilidade da expressão do conteúdo de beta-glicana de cada genótipo, quando cultivados em diferentes ambientes. A indústria de

beneficiamento de aveia recebe grãos de diferentes regiões, cultivados em diferentes condições de ambiente natural e de tratos culturais, assim como produzidos em diferentes anos, porém, deve declarar no rótulo dos seus produtos o conteúdo mínimo de beta-glicana. Quando o conteúdo de qualquer componente nutricional não é alcançado a indústria pode sofrer sanções e penalidades.

O método de Eberhart e Russel (1966) é criticado porque o índice ambiental é construído a partir dos próprios genótipos testados nos diferentes ambientais. Se fossem mudados os genótipos, onde os novos genótipos tivessem adaptação diferente a cada ambiente, poderia obter-se índices ambientais diferentes para o mesmo ambiente de teste. Outro problema, é que não podemos saber porque um ambiente é favorável ou desfavorável à expressão do caráter em estudo. De qualquer forma, o método é bastante simples na sua concepção, assim com seus parâmetros são facilmente obtidos, permitindo determinar quais os genótipos tem maior estabilidade da expressão do caráter investigado através dos ambientes analisados, assim como determinar se algum genótipo é mais adaptado a ambientes específicos ou se possui adaptação ampla. Embora essas interpretações fiquem restritas aos ambientes de teste, sendo que quanto maior o número de ambientes avaliados maior é o conforto em definir a adaptação e a estabilidade de um determinado genótipo.

Na análise da adaptabilidade e estabilidade, quanto a expressão do conteúdo de beta-glicana dos grãos, a cultivar URS Torena mostrou o maior coeficiente de regressão entre todos os genótipos (Tabela 6) e também significativamente maior que 1, indicando que a URS Torena tem capacidade responder mais fortemente ao estímulo do ambiente para o aumento do conteúdo de beta-glicana, do que os demais genótipos (Figura 7-C).. Esta situação ocorreu em Eldorado do Sul 2011, épocas 1 e 2, ambientes com os maiores índices ambientais, iguais a 0,49 e 0,64, respectivamente (Figura 7-C). Por outro lado a URS Torena apresentou baixo conteúdo de BG nos ambientes desfavoráveis, revelando



uma adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. URS Torena também revelou-se um genótipo estável, com um dos menores desvios da regressão linear, estabilidade essa corroborada pelo mais alto valor do coeficiente de determinação da regressão ( $R^2$ ). É importante ressaltar que todos os genótipos testados mostraram-se estáveis, segundo a metodologia de Eberhart e Russel (1966), pois nenhum apresentou desvio da regressão linear significativamente maior que zero, segundo o teste F, da análise de variância do modelo da regressão (Tabela 6). Por outro lado, alguns genótipos revelaram coeficiente de determinação bastante baixo. Cruz & Regazzi (1992) propõem o uso do coeficiente da regressão linear como auxiliar na detecção da estabilidade do genótipo. Genótipos cuja regressão linear revela  $R^2$  elevado possui desempenho altamente previsível, quando da mudança de ambiente, enquanto que  $R^2$  baixo revela que a mudança do ambiente não é uma boa preditora da mudança na expressão do caráter, naquele dado genótipo.

As cultivares URS Guapa e URS Tarimba apresentaram conteúdos médios de beta-glicana elevados (Figura 7), porém revelaram os maiores desvios da regressão, embora não diferentes de zero, conjuntamente com baixos valores de  $R^2$  (Tabela 6), indicando que possuem estabilidade não muito elevada. URS Tarimba apresentou coeficiente de regressão ( $b$ ) não diferente de um (Tabela 6), mostrando adaptabilidade ampla, respondendo a melhoria do ambiente (Figura 7-C). Por outro lado, URS Guapa mostrou média elevada em todos os ambientes (Figura 7-B), a regressão linear estimou que no pior ambiente para expressão de beta-glicana nos grãos, Cruz Alta-2010, UFRGS 7 seria o genótipo com maior conteúdo de beta-glicana, porém os dados originais indicam que URS Guapa teve maior conteúdo de beta-glicana naquele ambiente. Apesar da metodologia de Eberhart & Russel (1966) considerar como genótipo ideal aqueles que são agronomicamente estáveis, ou seja, que tem  $b$  igual a 1, além de terem média elevada e desvios da regressão não diferentes de zero e o mais baixo possível; genótipos com  $b$  não diferente de zero e média elevada, além de desvios da regressão também não diferentes de

zero, poderiam também serem considerados ideais, pois são biologicamente estáveis. Nenhum genótipo revelou essa característica, sendo que URS Guapa foi aquele que mais se aproximou desse conceito (Figura 7-A), mas seu coeficiente da regressão ficou na fronteira da significância tanto de zero como de um. Os outros genótipos que se mostraram superior, tanto quanto a média elevada como  $b$ 's iguais a 1, foram URS Guará, URS Tarimba e URS Guria, sendo que esses três genótipos possuem como genitor feminino linhagens irmãs de URS Guapa (Tabela 1), reforçando a ideia de que o componente genético está presente na expressão do caráter beta-glicana, quando considerado a tendência média, embora haja grande variação de ambiente para ambiente (Figura 7).

O único genótipo que o coeficiente de regressão, da análise de estabilidade, não foi diferente de zero foi UFRGS 049001-2, a única cultivar nuda do trabalho, a qual também revelou o menor conteúdo médio de beta-glicana. Desta forma, é entendido que o seu conteúdo de beta-glicana muda pouco nos diferentes ambientes, permanecendo sempre baixo, o que é reforçado pelo  $R^2$  elevado, indicando que a sua média não acompanha a mudança da média dos demais genótipos, nos diferentes ambientes (Tabela 6). Já o coeficiente de regressão da UFRGS 7 foi diferente de zero apenas marginalmente (probabilidade de  $T = 0,08$ ), e seu  $R^2$  foi próximo a zero, assim como os resíduos que não foram diferentes de zero, indicando que o conteúdo de beta-glicana na UFRGS 7 parece não mudar entre os ambientes, tendendo a ser estável, e de média superior a encontrada para cultivar nuda (Figura 7-A).

Os demais genótipos tiveram coeficientes de regressão " $b$ " não diferentes de 1, portanto tendem a aumentar o conteúdo de beta-glicana quando o ambiente é melhor (que foi Eldorado do Sul em 2011). Sendo que a variação da mudança do conteúdo de BG destes genótipos pode ser explicada pela melhoria do ambiente entre cerca 23% (URS Penca e URS Taura) e cerca de 54% (URS 21 e URS Charrua). Por fim, nenhum genótipo

reuniu as condições de um genótipo ideal, ou seja, um conteúdo estável frente a ambiente piores e uma resposta à ambiente potenciais.

Os ambientes apresentaram variação nos valores médios do conteúdo de beta-glicana, tendo um efeito significativo (Figura 9 e Tabela 7). O ano de 2011 se mostrou muito favorável à expressão do caráter. Diversos aspectos parecem influenciar o conteúdo de beta-glicanas, os ambientes mais favoráveis para ela não foram os mesmos para outras características complexas como rendimento de grãos, peso do hectolitro, conteúdo de proteína e conteúdo de lipídio. Estudos devem aprofundar o conhecimento no sentido de obter dados que caracterizem os ambientes de teste, principalmente no período de enchimento de grãos, para entender como as variações no clima dos ambientes influencia o conteúdo de beta-glicana.

O componente genético é da mesma forma que o ambiente, importante na expressão do caráter, e em alguns genótipos parece ser mais forte, ou seja, expressando a característica de forma adequada em ambientes diferentes, mostrando uma adaptação ampla frente a diferentes condições de cultivo (Tabela 8). Materiais como URS Guapa e URS Guará são exemplos deste caso, pois alcançaram médias mais altas que as médias gerais da maioria dos ambientes testados.

A época de semeadura é um importante fator na variação ambiental que os materiais podem enfrentar em situações de cultivo. Ao avaliar os ambientes de Eldorado do sul, onde foi possível testar o efeito de época, esta teve importância e foi significativa sobre a expressão do caráter. Novamente o fator genético se mostrou significativo. Na Figura 10 é possível perceber que os mesmos genótipos que foram superiores quando todos ambientes foram avaliados juntos mostram-se no grupo de maior média quando testamos o efeito da época de plantio. O plantio atrasado em torno de um mês da época recomendada para a aveia branca mostrou um valor médio de conteúdo de beta glicana maior que o plantio na época recomendada. Mais uma vez, coletar dados climatológicos poderá auxiliar

à entender melhor este efeito (Figura 12). O ano também apresentou significância na análise de variância (Tabela 9), e o ano de 2011 mostrou um conteúdo de beta-glicana médio superior ao ano de 2010. Como o ano de 2011 foi mais favorável em diversos aspectos para a cultura esse efeito era esperado. Tanto para os efeitos de ano e época a quantidade de ambientes testados foi muito pequena para realizar conclusões, principalmente sobre o efeito da época na expressão do caráter. Mais ambientes precisam ser testados, por mais anos e com plantios escalonados para ser possível concluir e conhecer melhor o efeito destas variantes sobre o conteúdo de beta-glicana.

## 6 CONCLUSÕES

As determinações do conteúdo de beta glicana dos grãos mostraram que os genótipos de aveia da UFRGS apresentam um valor adequado de beta-glicana. Para projetos futuros é interessante a introdução de novos materiais doadores de genes para a melhoria do caráter conteúdo de beta-glicana. A associação do conteúdo de beta-glicana com os outros componentes nutricionais foi de maneira geral negativa, onde genótipos que apresentaram maiores médias de beta-glicana, em todos os ambientes, tenderam a apresentar diminuição nos teores de proteínas e lipídios. Esta observação não é uma regra, pois estudos conduzidos em ambientes diferentes verificaram resultados de interações diferentes. As correlações entre componentes nutricionais são complexas e dependentes do ambiente, nada impede que ambientes ótimos potencializem mais de um caráter, assim como alguns ambientes podem prejudicar somente um deles.

As associações entre o conteúdo de beta-glicana com o formato dos grãos não são claras, mas trazem a ideia de que os grãos devem ser grandes e compridos. Não existem muitos dados de outros estudos explicando outras relações com o formato dos grãos, porém neste trabalho pode-se dizer que o formato dos grãos apresenta associação com o conteúdo de beta-glicana. O comprimento provavelmente está ligado a uma maior proporção de camada de aleurona e sub-aleurona em relação ao endosperma. Ainda assim, parece que a melhor estratégia seja buscar selecionar materiais pela análise direta do conteúdo de beta-

glicana nos grãos, o formato não deve ser um fator de eliminação, mas o comprimento dos grãos pode ser levado em conta na seleção.

Os caracteres agronômicos também apresentaram associações com o conteúdo de beta-glicana. A associação com o rendimento não foi significativa, mas o rendimento explicou positivamente o conteúdo de beta-glicana na análise de regressão múltipla de todos ambientes. Outros estudos encontraram tanto correlações positivas como negativas com o rendimento. A determinação do rendimento de grãos é sabidamente complexa, sendo que a expressão do conteúdo de beta-glicana também deve ser de natureza genética complexa e/ou com forte efeito do ambiente sobre os alelos controlando o caráter, assim como para as demais características de qualidade dos grãos. Logo, as associações entre os diferentes caracteres agronômicos e de qualidade de grãos mostram-se confusas quando analisadas em diferentes ambientes. Porém, em ambientes com maior potencial para expressão do caráter beta-glicana associações significativas são mais facilmente encontradas, indicando que nestes ambientes o próprio desenvolvimento e crescimento da planta é mais decisivo para determinar o conteúdo de beta-glicana nos grãos, comparado com fatores ambientais, difíceis de serem identificados.

O ambiente apresentou influência sobre o conteúdo de beta-glicana, a estabilidade da expressão do conteúdo de beta-glicana variou entre os genótipos. Genótipos mais estáveis foram encontrados, onde o conteúdo médio de beta-glicana nos grãos variou pouco entre os ambientes. Por outro lado, também foram encontrados genótipos que nos piores ambientes tiveram sua média diminuída, mas nos ambientes melhores aumentaram a média do caráter mostrando uma resposta positiva frente a melhoria do ambiente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, R.; OWEN, G. M.; SCHANBAKER, L. M. Role of dietary fiber in geriatric nutrition: a review. In: VANHAOUNY, G. V.; KRITCHEVSKY, D. (Ed.). **Dietary fiber**. New York: Plenum Press, 1986. p. 373-387

AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. Nutrition recommendations and interventions for diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. **American Diabetes Association**, Alexandria, v. 30, p. 48-65, 2007.

AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. **Journal of American Dietetic Association**, Chicago, v. 102, p. 993-1000, 2002.

ANDERSON, J. W. Physiological and metabolic effects of dietary fiber. **Federation Proceedings**, Washington, v. 44, n. 14, p. 2902-2906, 1985.

ANDERSON, J. W.; GUSTAFSON, N. J. Dietary fiber in disease prevention and treatment. **Comprehensive Therapy**, Harvard, v. 13, n. 1, p. 43-53, 1987.

ARENTZ-HANSE, H. et al. The molecular basis for oat intolerance in patients with celiac disease. **PLoS Medicine**, San Francisco, v. 1, n. 1, p. 84-92, 2004.

ASPINAL, G. E.; CARPENTER, R. C. Structural investigations on the non-starch polysaccharides of oat bran. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 4, n. 4, p. 271-282, 1984.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 18. ed. Arlington: AOAC, 2005. 2500 p. 2 v.

BENNETZEN, J. L. Patterns in grass genome evolution. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 10, p. 176-181, 2007.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agrônoma da UFRGS**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 60 p.

BLAKNEY, A. B.; FLINN, P. C. Determination of non-starch polysaccharides in cereal grains with near-infrared reflectance spectroscopy. **Molecular Nutrition & Food Research**, Weinheim, v. 49, p. 546-550, 2005.

BONNETT, O. T. **The oat plant**: its histology and development. Urbana: University of Illinois, 1961. 112 p. (Boletim, 672).

BURTON, R. A. et al. Cellulose synthase-like CslF genes mediate the synthesis of cell wall (1,3,1,4)-b-D-Glucans. **Science**, Washington, v. 311, p. 1940-1942, 2006.

BURTON, R. A. et al. The genetics and transcriptional profiles of the cellulose synthase-like *HvCslF* gene family in barley. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 146, p. 1821-1833, 2008.

CARVALHO, F. I. F. de; BARBOSA NETO, J. F.; FLOSS, E. L. Potencial genético da aveia, como produtora de grão, no sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 71-82, 1987.

CERVANTES-MARTINEZ, C. T. et al. Correlated responses to selection for greater  $\beta$ -glucan content in two oat populations. **Crop Science**, Madison, v. 42, p. 730-738. 2002.

CHERNYSHIVA, A. A. et al. Selection for nutritional function and agronomic performance in oat. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 2330-2339, 2007.

CHRISTENSEN, U.; SCHELLER, H. V. Regulation of (1,3,1,4)-b-D-glucan synthesis in developing endosperm of barley lys mutants. **Journal of Cereal Science**, London, v. 55, p. 69-76, 2012.

COFFMAN, F. A. **Oat history, identification and classification**. Washington: USDA, 1977. 356 p. (Boletim técnico, 1516).

CONAB. [Séries históricas: aveia]. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

COOK, R. D.; WEISBERG, S. **Applied regression including computing and graphics**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 593 p.

CORY, A. T. et al. Genetic markers for Cs/F6 gene associated with (1,3;1,4)- $\beta$ -glucan concentration in barley grain. **Journal of Cereal Science**, London, v. 56, n. 2, p. 332-339, 2012.

CRESTANI, M. et al. Conteúdo de  $\beta$ -glucana em cultivares de aveia-branca cultivadas em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 261-268, 2010.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1992. 390 p.

DAVIDSON, M. H. et al. The hypocholesterolemic effects of  $\beta$ -Glucan in oatmeal and oat bran. **The Journal of the American Medical Association**, Chicago, v. 265, p. 1833-1839, 1991.

DICKIN, E. et al. Effect of genotype, environment and agronomic management on  $\beta$ -glucan concentration of naked barley grain intended for health food use. **Journal of Cereal Science**, London, v. 54, p. 44-52, 2011.

DIEDERICHSEN, A. Preservation and investigation of oat (*Avena L.*) diversity at plant gene resources of Canada. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 29., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 1-2.



DOEHLERT, D. C.; MCMULLEN, M. S.; HAMMOND, J. J. Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1066-1072, 2001.

DORNEZ, E. et al. Study of grain cell wall structures by microscopic analysis with four different staining techniques. **Journal of Cereal Science**, London, v. 54, p. 363-373, 2011.

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 1, n. 5, p. 36-40, 1966.

FAN, M. et al. Effect of nitrogen forms and levels on b-glucan accumulation in grains of oat (*Avena sativa* L.) plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 172, p. 861-866, 2009.

FAOSTAT. **Production, crops**. [2012]. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

FDA. **Food labeling**: health claims, oats and coronary heart disease. [2011a] Disponível em: <<http://www.fda.gov/food/labelingnutrition/labelclaims/healthclaimsmeetingsignificantscientificagreementssa/ucm074719.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2011.

FDA. **Food labeling**: health claims, soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease. [2011b]. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12361061>>. Acesso em 11 jul. 2011.

FEDERIZZI, L. C.; MUNDSTOCK, C. M. Fodder oats: an overview for South America. In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. (Ed.). **Fodder oats**: a world review. Roma: FAO, 2004. p. 37-51.

FEDERIZZI, L. C.; PACHECO, M. T. Programa de melhoramento genético de aveia da UFRGS: 35 anos de história. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 29., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 202-205.

FINCHER, G. B. Exploring the evolution of (1,3,1,4)-b-D-glucans in plant cell walls: comparative genomics can help! **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 12, p. 140-147, 2009.

FLOSS, L. E. Situação e perspectivas da cultura da aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 28., 2008, Pelotas. **Palestra...** Pelotas: UFPEL, 2008. p. 35-45.

FRANCISCO, A. Qualidade industrial e nutricional da aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 22., 2002, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF, 2004. p. 62-67.

HAN, F. et al. Mapping of beta-glucan content and beta-glucanase activity loci in barley grain and malt. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 91, p. 921-927, 1995.

HAZEN, S. P.; SCOTT-CRAIG, J. S.; WALTON, J. D. Cellulose synthase like genes of rice. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 128, p. 336-340, 2002.

IMMERSTRAND, T. **Cholesterol-lowering properties of oats: Effects of processing and the role of oat components**. 2010. 170 f. Tese (Doutorado) - Division of Applied Nutrition and Food Chemistry, Department of Food Technology, Engineering and Nutrition, Lund University, Lund, Sweden, 2010.

KAUKOVIRTA-NORJA, A. et al. Germination: a means to improve the functionality of oat. **Agricultural and food science**, Helsinki, v. 13, p. 100-112, 2004.

KIANIAN, S.F. et al. Quantitative trait loci influencing  $\beta$ -glucan content in oat. **Theoretical and applied genetics**, Berlin, v. 101, p. 1039-1048, 2000.

LAMARI, L. **ASSESS**: image analysis software for plant disease quantification. St. Paul: APS Press, 2002.

LAZARIDOU, A.; BILIADERIS, C. G. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, p. 101-118, 2007.

LEGETT, J. M.; MARKHAND, S. M. The genomic identification of some monosomics of *Avena sativa* L. cv. Sun II using GISH. **Genome**, Ottawa, v. 38, p. 747-751, 1995.

LEONARD, W. H.; MARTIN, J. H. Rye, Barley and Oats. In: LEONARD, W. H.; MARTIN, J. H. **Cereal crops**. New York: The Macmillan Company, 1963. p. 447-603.

LIU, K.; STAMLER, J.; TREVISAN, M. Dietary lipids, sugar, fiber and mortality from coronary heart disease. **Atherosclerosis**, Limerick, v. 3, n. 2, p. 221-227, 1982.

LOSKUTOV, I. G. On evolutionary pathways of *Avena* species. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 55, p. 211-220, 2008.

MARLETT, J. A. Comparisons of dietary fiber and selected nutrient compositions of oat and other grain fractions. In: WOOD, P. J. (Ed.). **Oat bran**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 49-82.

MILLER, S. S.; FULCHER, R. G. Distribution of (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan in kernels of oats and barley using microspectrofluorometry. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 71, p. 64-68, 1994.

MILLER, S. S. **Oat  $\beta$ -glucan**: biochemistry, structure and genetic variation. 1992. 227 f. Tese (Doutorado) - Department of Biochemistry, University of Ottawa, Ottawa, 1992.

MINGSHOU, F. et al. Effect of nitrogen forms and levels on  $\beta$ -glucan accumulation in grains of oat (*Avena sativa* L.) plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 172, p. 861-866, 2009.

MOORE, G. et al. Grasses, line up and form a circle. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 5, p. 737-739, 1995.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria**: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale. Porto Alegre: NBS, 1983. 265 p.

NEWELL, M. A. **Oat (*Avena sativa* L.) quality improvement for increased beta-glucan concentration**. 2011. 112 f. Tese (Doutorado) - Plant Breeding, Iowa State University, Ames, Iowa, 2011.

PEAR, J. R. et al. Higher plants contain homologs of the bacterial *celA* genes encoding the catalytic subunit of cellulose synthase. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 93, p. 12637-12642, 1996.

PETERSON, D. M.; WOOD, D. F. Composition and Structure of High-oil Oat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 26, p. 121-128, 1997.

PICK, M. E. et al. Oat bran concentrate bread products improve long-term control of diabetes: a pilot study. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 96, n. 12, p. 1254-1261, 1996.

REDDY, B. S. Colon: future directions. In: VANHOUNY, G. V.; KRITCHEVSKY, D. (Ed.). **Dietary fiber**. New York: Plenum Press, 1986. p. 543-552.

SAASTAMOINEN, M. et al. Beta-glucan contents of groats of different oat cultivars in official variety, in organic cultivation, and in nitrogen fertilization trials in Finland. **Agricultural and Food Science**, Helsinki, v. 13, p. 68-79, 2004.

SAS Institute. **SAS OnlineDoc, version 8**. [2012]. Disponível em: <<http://v8doc.sas.com/sashtml/>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

SHEWRY, P. R. et al. Phytochemical and fiber components in oat varieties in the healthgrain diversity screen. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, p. 9777-9784, 2008.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics**: a biometrical approach. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 1997. 666 p.

STEVENS, E. J. et al. **Fodder oats**: an overview. [2011]. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/008/y5765e/y5765e06.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

TAKETA, S. et al. Functional characterization of barley betaglucanless mutants demonstrates a unique role for CslF6 in (1,3,1,4)-b-D-glucan biosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, p. 1-12, 2011. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/content/early/2011/09/21/jxb.err285.full.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

THOMAS, H. Cytogenetics of *Avena*. In: MARSHALL H. G.; SORRELS, M. E. **Oat science and technology**. Madison: Crop Science Society of America, 1992. p. 473-507.

THOMAS, H. Oats. In: SMART, J; SIMMONDS, N. W. (Ed.). **Evolution of crop plants**. 2nd ed. New York: Longman Scientific & technical, 1995. p. 132-136.

TINKER, N. A. et al. New DArT markers for oat provide enhanced map coverage and global germplasm characterization. **BMC Genomics**, London, p. 10-39, 2009. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2164/10/39/>>. Acesso em: 01 jul. 2012.

WANG, H. et al. Inhibitory effect of whole oat on aberrant crypt foci formation and colon tumor growth in ICR and BALB/c mice. **Journal of Cereal Science**, London, v. 53, p. 73-77, 2011.

WEIGHTMAN, M. R. et al. Relationship between grain (1→3,1→4)-β-D-glucan concentration and the response of winter-sown oats to contrasting forms of applied nitrogen. **Journal of Cereal Science**, London, v. 40, p. 81-86, 2004.

WELCH, R. W. The chemical composition of oats. In: WELCH, R. W. (Ed.). **The oat crop: production and utilization**. London: Chapman & Hall, 1995. p. 279-320.

WOOD, P. J.; FULCHER, R. G. Dye interactions: a basis for specific detection and histochemistry of polysaccharides. **The Journal of Histochemistry and Cytochemistry**, Baltimore, v. 31, p. 823-826, 1983.

WOOD, P. J. Cereal β-glucans in diet and health. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, p. 230-238, 2007.

WOOD, P. J. et al. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma and insulin following an oral glucose load. **The British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 72, p. 731-743, 1994.

WOOD, P. J.; WEIZ, J.; BLACKWELL, B. A. Molecular characterization of cereal b-D-glucans. Structural analysis of oat b-D-glucan and rapid structural evaluation of b-D-glucans from different sources by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 1, p. 31-39, 1991.

YAN, W.; FRÉGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 417-423, 2008.

## **8 VITA**

Martim Fogaça Severo é filho de Jorge Luiz Paiva Severo e Heloisa Süffert Fogaça Severo. Nasceu em Ijuí no estado do Rio Grande do Sul, no dia 12 de janeiro de 1987. Coursou o ensino fundamental nas escolas Maria Goretti e Santa Rosa de Lima e o ensino médio no Colégio Leonardo da Vinci – Alfa. Em 2005 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde se graduou Engenheiro Agrônomo em 2010. No mesmo ano iniciou o mestrado no programa de pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, com o apoio financeiro da PEPSI CO – Quaker, FAUFRGS.