

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Diego Nicolau Follmann

**GANHO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA, TRIGO E GIRASSOL NO
RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2016

Diego Nicolau Follmann

**GANHO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA, TRIGO E GIRASSOL NO RIO
GRANDE DO SUL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Follmann, Diego Nicolau
GANHO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA, TRIGO E GIRASSOL NO
RIO GRANDE DO SUL / Diego Nicolau Follmann.- 2016.
71 p.; 30 cm

Orientador: Alberto Cargnelutti Filho
Coorientador: Alessandro Dal'Col Lúcio
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2016

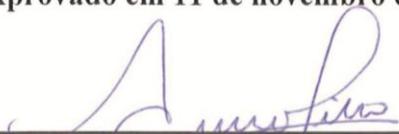
1. Progresso Genético. 2. Culturas Regionais. 3. Ensaio de Cultivares I. Cargnelutti
Filho, Alberto II. Dal'Col Lúcio, Alessandro III. Título

Diego Nicolau Follmann

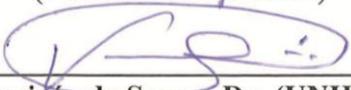
**GANHO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA, TRIGO E GIRASSOL NO RIO
GRANDE DO SUL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do título de **Doutor em
Agronomia**.

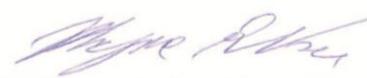
Aprovado em 11 de novembro de 2016:



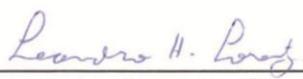
Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Velci Queiróz de Souza, Dr. (UNIPAMPA)



Ubirajara Russi Nunes, Dr. (UFSM)



Leandro Homrich Lorentz, Dr. (UNIPAMPA)



Alexandra Augusti Boligon, Dr^a (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Adelar e Dilva Follmann pela paciência, apoio, incentivo, perseverança junto a expectativas sob a minha formação pessoal e profissional... **DEDICO...***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que é o regente do tempo e Universo, o qual nos proporciona o Dom da Vida e a oportunidade de evoluirmos espiritualmente a cada de dia de nossa jornada.

A minha família, a qual é minha base como cidadão e ser humano, que me proporciona total apoio.

A minha namorada Leila, pelo amor e incentivo, sempre atenciosa e dedicada, apoiando na vida pessoal e acadêmica.

Aos meus amigos, os quais a cada etapa conquistada, consolidamos nossa relação de confiança, construída nessa vida andante.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa LABEXP, pela confiança e apoio para realização deste trabalho.

Ao orientador professor Dr. Alberto Cargnelutti Filho, pelo apoio, incentivo, orientação e pela amizade construída, durante todo período de convivência.

Aos professores do comitê de orientação Dr. Velci Queiróz de Souza e Alessandro Dal'Col Lúcio, pela amizade, orientação e atenção concedida.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste trabalho e pelo aprendizado.

A Sociedade Educacional Três de Maio, em especial ao professor Marcos Caraffa, pelo apoio e incentivo junto a realização deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa de pesquisa.

A todos os pesquisadores e empresas envolvidos nas redes de ensaios de cultivares de aveia branca, trigo e girassol.

A todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu sincero MUITO OBRIGADO!

*“Quase todos podemos suportar a adversidade,
Mas se quereis provar o caráter de um homem,*

Dai-lhe poder.”

(Abraham Lincoln)

RESUMO

GANHO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA, TRIGO E GIRASSOL NO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Diego Nicolau Follmann
ORIENTADOR: Alberto Cargnelutti Filho

Os objetivos deste estudo foram: avaliar o progresso genético das culturas de aveia branca (*Avena sativa* L.), de trigo (*Triticum aestivum* L.) e de girassol (*Helianthus annuus* L.), em ensaios organizados pelas redes de ensaios de aveia branca, trigo e girassol no Estado do Rio Grande do Sul (RS); estudar o progresso genético em ensaios conduzidos com e sem o uso de fungicidas na cultura de aveia branca para a produtividade de grãos e peso hectolítrico; estudar o progresso genético em ensaios conduzidos em regiões homogêneas de cultivo de trigo para produtividade de grãos; estudar o progresso genético na cultura de girassol para produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo. Para a cultura de aveia branca foram utilizados 89 ensaios pertencentes a rede de competição de cultivares, com ensaios divididos com e sem o uso de fungicida, ensaios conduzidos em nove municípios do RS durante o período de 2007 a 2014. Para a cultura de trigo foram utilizados 137 ensaios de cultivares pertencentes ao ensaio estadual de cultivares de trigo (EECT), com ensaios divididos em duas regiões homogêneas de cultivo, estes ensaios foram conduzidos em vinte e três municípios do RS, no período de 2002 a 2013. Para a cultura de girassol foram utilizados 58 ensaios de cultivares pertencentes à rede de ensaio de avaliação de genótipos de girassol, os ensaios foram conduzidos em 19 municípios do RS, no período de 2005 a 2014. Para o estudo do progresso genético foi utilizada a metodologia proposta por Vencovsky et al. (1988) e determinado o balanço do progresso genético pelo método dos quadrados mínimos generalizados. O progresso genético anual para a produtividade de grãos de aveia branca, no período de oito anos no RS foi de 1,02% com a utilização de fungicida, e de 4,02% sem a utilização de fungicida. Com relação ao peso hectolítrico, o progresso anual foi de 0,08% para ensaios com fungicida e 0,71% sem aplicação de fungicida. A condução da rede de ensaios, com e sem o uso de fungicida na parte aérea é viável para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento, na introdução de genes de resistência a patógenos nas cultivares lançadas. O progresso genético anual para a produtividade de grãos de trigo, no período de 12 anos, no estado do Rio Grande do Sul foi de 2,86%, oscilando entre as regiões homogêneas de cultivo. A diferença de progresso genético anual da região 1 (1,82%) em relação a região 2 (4,38%), justifica o estudo do progresso genético por regiões homogêneas de cultivo. O progresso genético anual de girassol no período de 10 anos (2005-2014), para a produtividade de grãos foi de 8,58%, para teor de óleo foi de -0,38% e para produtividade de óleo foi de 7,13%. Os programas de melhoramento genético da cultura de girassol no estado do Rio Grande do Sul foram eficientes para as variáveis produtividade de grãos e produtividade de óleo e não apresentaram eficiência para o teor de óleo.

Palavras chave: Progresso Genético. Culturas Regionais. Ensaios de Cultivares.

ABSTRACT

GENETIC GAIN IN OAT, WHEAT, AND SUNFLOWER IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Diego Nicolau Follmann

ADVISOR: Alberto Cargnelutti Filho

The objectives of this study were to evaluate the genetic progress of oat (*Avena sativa* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), and sunflower (*Helianthus annuus* L.) in trials organized and performed by the yield trials network of oat, wheat, and sunflower in the state of Rio Grande do Sul (RS), to evaluate the genetic progress in trials performed with and without fungicide use in oat for grain yield and hectoliter weight; to study the genetic progress in trials performed in homogeneous growing regions of wheat for grain yield; and to study the genetic progress in sunflower for grain yield, oil content, and oil yield. For oat, 89 trials belonging to the yield trials network were used with trials divided into with and without fungicide use and the trials were performed in nine municipalities in the RS during the period of 2007 to 2014. For wheat, 137 cultivar trials belonging to the state wheat cultivars trials (EECT) were used, with trials divided into two homogeneous growing regions. Trials were performed in 23 municipalities in the RS during the period of 2002 to 2013. For sunflower, 58 cultivars trials belonging to the sunflower genotypes assessment trials network were used and the trials were performed in 19 municipalities in the RS during the period of 2005 to 2014. The methodology proposed by Vencovsky et al. (1988) was utilized for the study of genetic progress and the balance of genetic progress was determined by the method of generalized least squares. The annual genetic progress for oat grain yield was 1.02% with fungicide use and 4.02% without fungicide use during the period of eight years in RS. Regarding the hectoliter weight, the annual genetic progress was 0.08% for trials with fungicide use and 0.71% for trials without fungicide use. Performing network yield trials with and without fungicide use in the aerial part is feasible to evaluate the efficiency of oat breeding programs in the introduction of disease resistance genes in released cultivars. Annual genetic progress for wheat grain yield during the period of 12 years in the state of RS was 2.86%, oscillating between homogeneous growing regions. The difference of annual genetic progress in region 1 (1.82%) in relation to region 2 (4.38%) justifies the study of genetic progress by homogeneous growing regions. Annual genetic progress of sunflower during the period of ten years (2005-2014) for grain yield was 8.58%, for oil content was -0.38%, and for oil yield was 7.13%. The sunflower breeding programs in the state of Rio Grande do Sul were efficient for the traits grain yield and oil yield and presented no efficiency for oil content.

Keywords: Genetic progress. Regional crops. Cultivar trials.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Representação geográfica dos locais de condução dos ensaios de aveia branca no Rio Grande do Sul, organizados pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, durante o período de 2007 a 2014, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. 1 = Augusto Pestana; 2 = Cruz Alta; 3 = Eldorado do sul; 4 = Ijuí; 5 = Itaqui; 6 = Passo Fundo; 7 = Pelotas; 8 = Três de Maio; 9 = Vacaria.....36

CAPÍTULO II

Figura 1 - Representação geográfica dos 23 locais de condução dos ensaios estaduais de cultivares de trigo no Rio Grande do Sul, durante o período de 2002 a 2013. 1 = Augusto Pestana; 2 = Cachoeira do Sul; 3 = Capão do Leão; 4 = Caxias do Sul; 5 = Coxilha; 6 = Cruz Alta; 7 = Eldorado do Sul; 8 = Encruzilhada do Sul; 9 = Giruá; 10 = Hulha Negra; 11 = Ijuí; 12 = Independência; 13 = Júlio de Castilhos; 14 = Não-me-Toque ; 15 = Palmeira das Missões; 16 = Passo Fundo; 17 = Pelotas; 18 = Santo Augusto; 19 = São Borja; 20 = São Luiz Gonzaga; 21 = Sertão; 22 = Três de Maio e 23 = Vacaria.....50

CAPÍTULO III

Figura 1 - Representação geográfica dos 19 locais de condução de ensaios, da Rede de Ensaios Oficiais de Girassol no Rio Grande do Sul, durante o período de 2005 a 2014. 1 = Caxias do Sul; 2 = Coxilha; 3 = Cruz Alta; 4 = Encruzilhada do Sul; 5 = Hulha Negra; 6 = Ijuí; 7 = Palmeira das Missões; 8 = Passo Fundo; 9 = Pelotas; 10 = Rio Pardo; 11 = Santa Cruz do Sul; 12 = Santa Maria; 13 = Santa Rosa; 14 = São Borja; 15 = São Gabriel; 16 = Três de Maio; 17 = Uruguaiana; 18 = Vacaria; 19 = Veranópolis.....62

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Relação cronológica dos trabalhos científicos da Reunião Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, utilizados no presente trabalho.....	37
Tabela 2 - Anos, locais e números de ensaios e de cultivares avaliadas na rede de ensaios de competição de cultivares de aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.), no período de 2007 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil, com e sem aplicação de fungicida na parte aérea.....	38
Tabela 3 - Taxas de inclusão, exclusão, manutenção e renovação de cultivares avaliadas na rede de ensaios de competição de cultivares de aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.), no período de 2007 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....	39
Tabela 4 - Médias de produtividade de grãos e de peso hectolítrico, em kg 100 L ⁻¹ , com e sem aplicação de fungicida na parte aérea, de cultivares avaliadas na rede de ensaios de competição de cultivares de aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.), no período de 2007 a 2014, por locais (Augusto Pestana, Cruz Alta, Eldorado do Sul, Ijuí, Itaqui, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio, Vacaria) e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....	40
Tabela 5 - Média de progresso genético anual e percentagem de progresso genético anual para a produtividade de grãos e peso hectolítrico, de cultivares de aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.), calculadas por locais (Eldorado do Sul, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio) e no geral do estado do Rio Grande do Sul, durante o período de 2007 a 2014.....	41

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Relação de documentos publicados, anualmente, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), com os resultados dos ensaios estaduais de cultivares de trigo (EECT), avaliados no período de 2002 a 2013, em locais do estado do Rio Grande do Sul, utilizados nesse estudo.....	49
Tabela 2 - Número de ensaios em cada local e ano e totais de ensaios por local e por ano, conduzidos na rede de ensaios estaduais de cultivares de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.), no período de 2002 a 2013, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....	51
Tabela 3 - Taxas de Inclusão, exclusão, manutenção e renovação de cultivares avaliadas nos ensaios estaduais de cultivares de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.), no período de 2002 a 2013, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....	52

Tabela 4 - Médias de produtividade de grãos, em kg ha⁻¹, de cultivares avaliadas nos ensaios estaduais de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), no período de 2002 a 2013, em regiões homogêneas e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....53

Tabela 5 - Progresso genético anual e percentagem de progresso genético anual para a produtividade de grãos, de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), calculados por regiões homogêneas de cultivo e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), durante o período de 2002 a 2013.....54

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Relação de documentos publicados, anualmente, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com instituições públicas e privadas, referente à rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....61

Tabela 2 - Número de ensaios em cada local e ano e totais de ensaios por local e por ano, conduzidos na rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Número de cultivares avaliadas em cada ano.....63

Tabela 3 - Taxas de Inclusão, exclusão, manutenção e renovação de cultivares na rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....64

Tabela 4 - Médias de produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo de cultivares avaliadas na rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.....65

Tabela 5 - Progresso genético anual e percentagem de progresso genético anual para a produtividade de grãos, de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), para o estado do Rio Grande do Sul (RS), no período de 2005 a 2014.....66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
EECT	Ensaio estaduais de cultivares de trigo.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária.
kg	Quilograma.
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare.
kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Quilograma por hectare por ano.
m	Metro.
mm	Milímetro.
m ²	Metro quadrado.
PG	Produtividade de grãos.
PH	Peso hectolítrico.
PO	Produtividade de óleo.
RCBPA	Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia.
RS	Rio Grande do Sul.
SSD	Descendente de uma única semente.
TO	Teor de óleo.
$\hat{G}g$	Estimativa do ganho genético.
$\bar{y}1$	Média geral das cultivares no ensaio do ano 1.
$\bar{y}2$	Média geral das cultivares no ensaio do ano 2.
$\bar{y}c1$	Média das cultivares comuns no ensaio do ano 1.
$\bar{y}c2$	Média das cultivares comuns no ensaio do ano 2.
$\mu\hat{G}g$	Média de ganho genético do período.
%	Percentual.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 GANHO GENÉTICO.....	18
2.1.1 Estudos de ganho genético em culturas anuais.....	18
2.1.2 Ganho genético pela metodologia de Vencovsky.....	19
2.1.3 Taxas de inclusão, de exclusão, de manutenção e de renovação de cultivares.....	20
2.2 AVEIA BRANCA.....	20
2.2.1 Importância da cultura.....	21
2.2.2. Condução de ensaios com e sem o uso de fungicidas.....	21
2.3 TRIGO.....	22
2.3.1 Importância da cultura.....	23
2.3.2 Condução de ensaios em regiões homogêneas de cultivo.....	23
2.4 GIRASSOL.....	25
2.4.1 Importância da cultura.....	25
2.4.2 Produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo.....	26
3 ARTIGO I: PROGRESSO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA ASSOCIADO AO USO DE FUNGICIDA, NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	27
3.1 Introdução.....	28
3.2 Material e métodos.....	29
3.3 Resultados e discussão.....	30
3.4 Conclusão.....	33
3.5 Agradecimentos.....	33
3.6 Referências.....	33
4 ARTIGO II: PROGRESSO GENÉTICO EM REGIÕES HOMOGÊNEAS DE CULTIVO DE TRIGO NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	42
4.1 Introdução.....	43
4.2 Material e métodos.....	43
4.3 Resultados e discussão.....	45
4.4 Conclusão.....	46
4.5 Agradecimentos.....	46
4.6 Referências.....	47

5 ARTIGO III: PROGRESSO GENÉTICO DA CULTURA DE GIRASSOL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	55
5.1 Introdução.....	56
5.2 Material e métodos.....	56
5.3 Resultados e discussão.....	58
5.4 Conclusão.....	59
5.5 Agradecimentos.....	59
5.6 Referências.....	59
6 DISCUSSÃO.....	67
7 CONCLUSÃO.....	69
8 REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Rio Grande do Sul ocupa lugar de destaque no cenário brasileiro com relação a sua importância agrícola. Além de apresentar grande representatividade para a cultura de trigo, nos últimos anos o Estado evidencia constante crescimento com relação às culturas de aveia branca e girassol. Assim, investimentos em pesquisas nessas culturas são importantes para o seu desenvolvimento.

A aveia é uma espécie de cultivo de inverno, apresentando importância em sistemas de produção de grãos e integração lavoura-pecuária (LÂNGARO e CARVALHO, 2014). Nas últimas décadas, houve um aumento das áreas de cultivo, da qualidade e da produtividade de grãos de aveia branca no Brasil, diminuindo a demanda de importações deste cereal. Esse fato favoreceu o desenvolvimento e crescimento de indústrias de transformação e processamento de pequeno porte (FEDERIZZI et al., 2005).

O trigo é o principal cereal de inverno cultivado no Brasil, sendo que o Rio Grande do Sul sempre se destacou no seu cultivo (MORI, 2015), e atualmente junto com o Paraná, é um dos maiores produtores brasileiros (CONAB, 2016). As pesquisas relacionadas ao melhoramento de trigo no Brasil, iniciaram a aproximadamente 100 anos no Rio Grande do Sul e continuam até os dias atuais, resultando no lançamento de novas cultivares por empresas públicas e privadas (SOUZA e CAIERÃO, 2014).

O cultivo de girassol teve grande expansão e exploração pioneira na Rússia, com a principal finalidade a produção de óleo, considerado de elevada qualidade e indicado para alimentação humana por apresentar sabor suave e aromas neutros (CASTIGLIONI e OLIVEIRA, 2005). O Estado do Rio Grande do Sul é o quarto maior produtor brasileiro de girassol (CONAB, 2016). Dentre as vantagens que despertam o interesse em investimentos nesta cultura está a sua elevada capacidade de adaptação às condições climáticas brasileiras, como seca, frio e calor (CARVALHO et al., 2015).

O estudo do ganho genético expresso pelo progresso genético das culturas permite identificar o comportamento das cultivares desenvolvidas pelos programas de melhoramento vegetal junto à região de cultivo. O mesmo deveria ser procedido de maneira rotineira, para a análise da eficiência dos programas de melhoramento genético, identificando possíveis erros de planejamento (BORGES et al., 2009).

O método de progresso genético desenvolvido por Vencovsky et al. (1988), é um método considerado eficiente e prático (FARIA et al., 2007), visto que é uma alternativa de

baixo custo para o estudo, pois utiliza ensaios já conduzidos (TOLEDO et al., 1990). Nessa metodologia, o ganho genético é obtido em cada biênio por modelo de regressão linear, sendo que o balanço do progresso genético é obtido pelo método dos quadrados mínimos generalizados (CRUZ, 2001).

Estudos relativos ao progresso genético para a cultura de aveia branca são encontrados na literatura Barbosa Neto et al. (2000); Redaelli et al. (2008). Para a cultura de trigo foram desenvolvidos por Nedel, (1994); Bell et al. (1995); Guarda et al. (2004); Rodrigues et al. (2007); Cargnin et al. (2008); Oury et al. (2012); Marinciu et al. (2013); Beche et al. (2014); Wu et al. (2014). Para a cultura de girassol Pereira et al. (1999); De Lavega et al. (2007); Chigeza et al. (2012).

Estudos recentes com relação ao progresso genético de aveia branca, trigo e girassol, com base em ensaios conduzidos em locais do Estado do Rio Grande do Sul, não foram encontrados na literatura. Assim, os objetivos deste estudo foram: avaliar o progresso genético das culturas de aveia branca (*Avena sativa* L.), de trigo (*Triticum aestivum* L.) e de girassol (*Helianthus annuus* L.), em ensaios organizados pelas redes de ensaios de aveia branca, trigo e girassol no Estado do Rio Grande do Sul (RS); estudar o progresso genético em ensaios conduzidos com e sem o uso de fungicidas na cultura de aveia branca para a produtividade de grãos e peso hectolítrico; estudar o progresso genético em ensaios conduzidos em regiões homogêneas de cultivo na cultura de trigo para produtividade de grãos; estudar o progresso genético na cultura de girassol para produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 GANHO GENÉTICO

O ganho genético é o resultado da seleção de indivíduos superiores geneticamente para características de interesse. Com relação as culturas regionais, o mesmo pode ser atribuído ao progresso genético, decorrente do lançamento de novas cultivares.

De modo geral, estudos de progresso genético são realizados para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento no lançamento de novas cultivares (BORGES, 2009), auxiliando na identificação de possíveis erros de planejamento, podendo vir a ser analisadas e modificadas, caso necessário, as estratégias e metodologias utilizadas (FARIA et al., 2007).

A literatura brasileira traz poucos relatos sobre progresso genético nas culturas de aveia branca, trigo e girassol, dentre eles para a cultura de aveia branca trabalhos conduzidos por Barbosa Neto et al. (2000), trigo Nedel, (1994); Rodrigues et al. (2007); Cargnin et al. (2008) e Beche et al. (2014), e girassol (sem publicações no Brasil). Atualmente o Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro de aveia branca, segundo maior produtor de trigo e o quarto maior produtor de girassol (CONAB, 2016). Neste sentido, ressalta-se a importância de realizar estudos atuais de ganho genético neste Estado para estas culturas.

2.1.1 Estudos de ganho genético em culturas anuais

A literatura apresenta alguns trabalhos recentes sobre o progresso genético de culturas anuais, no entanto, para algumas culturas não são apresentados estudos ou são disponibilizados dados, porém estão desatualizados. Para a cultura de aveia branca, pode-se destacar o trabalho desenvolvido por Barbosa Neto et al. (2000), no Brasil, e Redaelli et al. (2008) na Itália. A cultura de trigo é um dos principais cereais cultivados no mundo e apresenta estudos realizados no Brasil, por Nedel (1994); Rodrigues et al (2007); Cargnin et al. (2008) e Beche et al. (2014).

Em outros países, trabalhos desenvolvidos com trigo são relatados por Bell et al. (1995) no México, Guarda et al. (2004) na Itália, Oury et al. (2012) na França, Marinciu et al. (2013) na Romênia e Wu et al. (2014) na China. Já a cultura do Girassol apresenta crescente expressão na agricultura mundial, com estudo relativos ao progresso genético realizado por

Pereira et al. (1999); de Lavega et al. (2007), na Argentina, e Chigeza et al. (2012), na África do Sul.

No Brasil, além das culturas de aveia branca e de trigo, o progresso genético em culturas anuais também foi estudado na cultura do arroz por Amorim Neto et al. (1998); Breseghello et al. (1999); Atroch e Nunes (2000); Borges et al. (2009); Breseghello et al. (2011) e DoVale et al. (2012). Para a cultura do feijão, evidencia-se estudos procedidos por Abreu et al. (1994); Ribeiro et al. (2003) e Faria et al. (2014). Na cultura de soja destacam-se os trabalhos realizados por Toledo et al. (1990); Alliprandini et al. (1993) e Lange e Federizzi (2009). Para a cultura do milho, os trabalhos de Vencovsky et al. (1988); Arias e Ramalho (1998); Storck et al. (2005).

2.1.2 Ganho genético pela metodologia de Vencovsky

A metodologia proposta por Vencovsky et al. (1988), tem como finalidade avaliar o progresso genético de culturas em ensaios regionais, nas reais condições de cultivo. Além da exposição das cultivares às influências ambientais próximas a condição de cultivo, esta metodologia também possibilita a utilização de ensaios já conduzidos durante um período de anos.

Essa metodologia destina-se à obtenção de estimativas de ganhos genéticos, sendo o balanço do progresso genético realizado pelo método dos quadrados mínimos generalizados (Cruz, 2001).

O método, para cálculo do ganho genético, em cada biênio, com base em modelo de regressão linear, consiste em:

$$\hat{G}_g = (\bar{y}_2 - \bar{y}_1) - (\bar{y}_{c2} - \bar{y}_{c1})$$

Onde:

\hat{G}_g = Estimativa do ganho genético

\bar{y}_1 = Média geral das cultivares no ensaio do ano 1.

\bar{y}_2 = Média geral das cultivares no ensaio do ano 2.

\bar{y}_{c1} = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 1.

\bar{y}_{c2} = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 2.

Nessa metodologia a diferença bruta é obtida por $(\bar{y}_2 - \bar{y}_1)$ e a diferença ambiental por $(\bar{y}_{c2} - \bar{y}_{c1})$. Assim, a estimativa do ganho genético é obtida pela diferença bruta menos a diferença ambiental (Vencovsky et al., 1988).

Posteriormente, é determinado o balanço do progresso genético pelo método dos quadrados mínimos generalizados, conforme descrição em Cruz (2001). Obtém-se a média de ganho genético do período ($\mu\hat{G}g$). Depois, calcula-se a percentagem de progresso genético anual pela expressão $(\frac{\mu\hat{G}g}{\bar{y}_1} * 100)$.

2.1.3 Taxas de inclusão, de exclusão, de manutenção e de renovação de cultivares

As taxas de inclusão (%I), de exclusão (%E), de manutenção (%m) e de renovação (%R) de cultivares, são ferramentas para avaliar a dinâmica do programa de melhoramento, avaliando seus investimentos para o lançamento de novas cultivares.

A avaliação destas taxas pode ser realizada em percentagem da seguinte forma:

$$\%I = \frac{100I}{M + E + I}$$

$$\%E = \frac{100E}{M + E + I}$$

$$\%M = \frac{100M}{M + E + I}$$

$$\%R = \frac{100I}{M + I}$$

Em que: I = número de cultivares incluídas no ano subsequente; E = número de cultivares excluídas no ano anterior; M = número de cultivares mantidas de um ano para o outro; e R = renovação de cultivares (Cruz, 2001).

2.2 AVEIA BRANCA

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma espécie hexaplóide que foi introduzida no Brasil por imigrantes europeus. A fonte do germoplasma brasileiro apresenta duas vias distintas, tendo como marco balizador o início dos anos 70, no qual os acessos introduzidos antes desse período são de origem colonial e ações realizadas na década de 30, com

germoplasma oriundo do Uruguai e Argentina. A partir da década de 70, viabilizado por parcerias firmadas entre universidades brasileiras e americanas, foi proporcionada a introdução de genótipos melhorados com relação a caracteres agrônômicos, apresentando menor ciclo vegetativo e presença de genes de resistência aos principais patógenos (FEDERIZZI et al., 2005).

A cultura de aveia apresenta grande dificuldade para a hibridação artificial, motivada pela mesma apresentar flor perfeita, associada ao fato de apresentar predominantemente o sistema de autofecundação, onde naturalmente ocorre baixa taxa de fecundação cruzada que dificilmente atinge a 0,5% (MILACH et al., 2009).

A aveia é classificada como uma espécie autógama, onde todas as cultivares lançadas podem ser considerada linhas puras. Após a realização de hibridações, os principais métodos de condução de populações segregantes consistem no método de bulk ou população, genealógico, SSD (descendente de uma única semente), retrocruzamentos e seleção recorrente (FEDERIZZI et al., 2005).

2.2.1 Importância da cultura

Os genótipos de aveia branca cultivados no Brasil até a década de 1980 apresentavam problemas relativos à aclimação. A partir desse período, iniciou-se o cultivo de genótipos desenvolvidos por programas de melhoramento genético brasileiros, o que possibilitou a obtenção de cultivares aclimatadas às condições edafoclimáticas do País. Um estudo desenvolvido por Barbosa Neto et al. (2000), indicou que esses programas de melhoramento proporcionaram ganho genético para produtividade de grãos, peso de grãos e peso do hectolítrico.

A área de cultivo com aveia no Rio Grande do Sul na safra de 2015 foi de 118,4 mil hectares, com produtividade de 1840 kg ha⁻¹ e produção de 217,9 mil toneladas (CONAB, 2016). A área cultivada vem crescendo nas últimas décadas, contribuindo para o Brasil diminuir a importação deste cereal e favorecendo o desenvolvimento e crescimento de indústrias de transformação e processamento de pequeno porte (FEDERIZZI et al., 2005).

2.2.2. Condução de ensaios com e sem o uso de fungicidas

O melhoramento genético de plantas é um processo complexo, o qual envolve etapas que iniciam primeiramente com a demanda solicitada pelo mercado, com cultivares de aveia que apresentem alta produtividade de grãos, associado à qualidade nutricional e industrial (FEDERIZZI et al., 2005).

Após ter atendido essa premissa de adequar o programa de melhoramento as necessidades do mercado consumidor, o melhorista de plantas planeja um ideótipo que possa vir a atender tais demandas e com foco em características que proporcionem a adaptação dessas plantas em diferentes condições ambientais, com tolerância a vírus, bactérias e fungos patogênicos que possam vir a causar doença na cultura (RAMALHO et al., 2012).

A resistência de plantas a doenças é dividida em resistência vertical e horizontal (BORÉM e MIRANDA, 2009). A resistência vertical é relacionada ao controle completo do patógeno, onde se trabalha com genes grandes que conferem resistência a doenças. Esta resistência pode ser interessante para alguns patógenos com baixa capacidade de superação da resistência. Sob outra perspectiva, a resistência horizontal consiste na piramidização de genes de resistência, apresentando controle parcial, no entanto, com maior dificuldade de superação pelo patógeno (ALLARD, 1971).

Conforme Chaves e Martinelli (2005), a ferrugem da folha é a doença que mais tem dificultado o progresso genético da aveia, sendo este fato devido à resistência genética não ser eficiente por períodos prolongados. A severidade de ferrugem na cultura da aveia branca apresenta elevada variação em função de locais e anos de cultivo, onde a resistência genética é a principal estratégia para o controle. No entanto, melhorias ambientais como adequação da época de semeadura e o uso de fungicidas são importantes ferramentas para evitar perdas do potencial produtivo da lavoura (MAY et al., 2014).

A utilização de ensaios regionais com e sem o uso de fungicidas em aveia branca, pode vir a ser uma estratégia para avaliar a eficiência da piramidização de genes de tolerância a doenças fúngicas em ensaios regionais.

2.3 TRIGO

A cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.) teve origem no Brasil junto com a colonização brasileira, sendo inicialmente cultivado pelos agricultores com fins de subsistência. No Brasil, os trabalhos com o melhoramento da cultura foram iniciados há quase um século, com o lançamento de mais de quinhentas cultivares durante o período. Os

primeiros cruzamentos artificiais com a cultura foram realizados no País em 1925, com a contratação de um geneticista sueco Iwar Beckman pelo governo Brasileiro, que iniciou seus trabalhos junto à estação de pesquisa Alfredo Chaves no Rio Grande do Sul (SOUZA e CAIERÃO, 2014).

O trigo é uma espécie autógama, que proporciona homogeneidade as cultivares lançadas, devido ao lançamento de linhas puras. O melhoramento no Brasil teve início com a seleção de variedades locais, introdução de variedades e hibridações artificiais. Dentre os métodos de condução de populações segregantes da cultura, recebem destaque os métodos populacional ou Bulk, método genealógico, método dos retrocruzamentos, método SSD (descendente de uma única semente) e método da seleção recorrente (FEDERIZZI et al., 2005).

2.3.1 Importância da cultura

A cultura do trigo é a principal cultura de inverno do Estado do Rio Grande do Sul, onde são realizados constantes investimentos por instituições públicas e privadas no lançamento de novas cultivares adaptadas a regiões de cultivos, apresentando elevados níveis de produtividade, associado à qualidade industrial dos grãos.

A produção Nacional de trigo sempre esteve concentrada na região Sul do Brasil, sendo que, até o início da década de 1970, aproximadamente 75% do trigo brasileiro era produzido no Rio Grande do Sul. A partir da década de 1990, os estados de Minas Gerais, Goiás, além do Distrito Federal, começaram a apresentar destaque em função de elevados níveis de produtividade alcançados em áreas de cultivo irrigado (MORI, 2015).

Na safra 2015 os maiores produtores de trigo brasileiro foram o estado do Paraná e Rio Grande do Sul. O estado do Rio Grande do Sul apresentou área de cultivo de 861,3 mil hectares, com produtividade média de 1700 kg ha⁻¹ e produção de 1464,2 mil toneladas (CONAB, 2016).

A área de cultivo de trigo no estado apresenta variação em função das condições climáticas e preço de mercado. No entanto, a cultura apresenta elevada importância econômica, gerando empregos no setor primário de produção e na indústria de transformação.

2.3.2 Condução de ensaios em regiões homogêneas de cultivo

As condições relacionadas ao clima, microclima, em associação com práticas culturais de manejo de plantas, e os sazonais ataques de patógenos e pragas interferem no desenvolvimento das plantas e são caracterizadas como ambiente, ou seja, o ambiente de cultivo compreende todos os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas e que não são de origem genética. Genótipos cultivados em distintos ambientes podem vir a apresentar um bom desempenho em um ambiente e baixo desempenho em outro. Esta alteração de desempenho dos genótipos é denominada interação genótipo x ambiente (G x E) (BORÉM e MIRANDA, 2009).

Devido a grande influência de condições ambientais no desenvolvimento dos genótipos, como atributos relacionados aos solos, incidência de radiação, oscilação de temperaturas, taxa de progresso de doenças, balanço hídrico, entre outros, as plantas quando em condições de estresse controlam rotas metabólicas de defesa que interferem na sua expressão gênica (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O fenótipo de uma planta é o resultado da expressão de fatores genético (G), ambientais (A) e da interação G x E (BORÉM e MIRANDA, 2009). Em função do grande número de fatores relacionados à interferência ambiental, nem sempre uma planta com potencial genético consegue expressar esse potencial em caracteres quantitativos, como é o caso da produtividade de grãos, caráter controlado por muitos genes e altamente influenciado pelo ambiente (CRUZ, 2005).

No ensaio estadual de cultivares de trigo (EECT) é utilizado como critério a divisão do Estado do Rio Grande do Sul em duas regiões homogêneas de cultivo. Conforme instrução normativa, a região homogênea 1 é classificada como fria, úmida e alta, sendo a região homogênea 2 classificada como moderadamente quente, úmida e baixa (BRASIL, 2008a; BRASIL, 2008b). Desta classificação podem surgir recomendações específicas de novas cultivares para cada região homogênea. Assim, estudos relativos ao progresso genético visando avaliar a eficiência dos programas de melhoramento no lançamento de novas cultivares, podem possibilitar um melhor controle das ações que estão sendo realizadas por regiões de cultivo.

Neste sentido, Redaelli et al. (2008) encontrou progresso genético diferente por região de cultivo com a cultura de aveia branca na Itália. Já, na China, com a cultura de trigo, também foi observado progresso genético em função da região de cultivo, com sugestões de reformulação de estratégias para o desenvolvimento de cultivares nas regiões com baixas taxas de progresso genético (WU et al., 2014).

2.4 GIRASSOL

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L) foi cultivada no Brasil inicialmente em 1932 em São Paulo no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). No Rio Grande do Sul, as primeiras pesquisas foram iniciadas a partir da década de 1950 (CASTIGLIONI e OLIVEIRA, 2005). O girassol apresenta ampla adaptabilidade às condições climáticas brasileiras, dentre elas a seca, o frio e o calor, com tolerância maior que a maioria das espécies cultivadas no país (CARVALHO et al., 2015).

O girassol é uma espécie alógama (fecundação cruzada), a qual é caracterizada pela constante presença de hibridação natural, tanto para geração de cultivar variedade, como no processo de geração de cultivar híbrida. As principais etapas para a geração de híbridos desta espécie são a obtenção de linhas endogâmicas, avaliação da capacidade de combinação das linhagens visando a identificação dos melhores híbridos e produção de sementes dos melhores híbridos, a qual é facilitada utilizando a macho-esterilidade nas linhas a serem utilizadas como fêmeas (CASTIGLIONI e OLIVEIRA, 2009).

Para o desenvolvimento de cultivares de polinização aberta, tem destaque como os principais métodos, o método de seleção massal, seleção recorrente intrapopulacional (progênies de meios-irmãos e progênies S1), seleção recorrente interpopulacional e método das Reservas ou de Pustovoit (mais utilizado para cultivares de população aberta). Já para o desenvolvimento de linhagens para a geração de híbridos, os métodos mais utilizados consistem no método genealógico, método da população e método dos retrocruzamentos (CASTIGLIONI e OLIVEIRA, 2005).

2.4.1 Importância da cultura

O consumo mundial de óleos e gorduras é superior a 86 milhões de toneladas, dos quais 82% são de origem vegetal. A cultura do girassol apresenta grande importância neste cenário, visto que seu óleo apresenta características culinárias e nutricionais valiosas, sendo uma excelente fonte de ácido linoleico, associado a sabor suave e aromas neutros, apresentando além de óleo, subprodutos que são fonte de proteínas em dietas de animais (CASTIGLIONI e OLIVEIRA, 2005).

A produção de girassol concentra-se na região centro-oeste, no entanto, o estado do Rio Grande do Sul apresenta destaque como o quarto maior produtor brasileiro. A área de semeadura da cultura no ano de 2015 no RS, foi de 3,3 mil hectares, com produtividade média de 1,339 kg ha⁻¹ e produção de 4,4 mil toneladas (CONAB, 2016).

2.4.2 Produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo

O girassol tem seu centro de origem na América do Norte, no entanto, no século XVIII foi introduzido na Rússia, onde o seu potencial como oleaginosa foi descoberto, ocupando área de 150.000 hectares em 1880 e tornando-se no início do século XX a principal cultura agrícola deste país. Os genótipos cultivados na época apresentavam de 20 a 30% de óleo, no entanto pelo método de seleção desenvolvido por Pustovoit, conhecido mundialmente como o método das reservas, foram selecionadas variedades com teor médio de 33%. Em 1965, genótipos com 55% de óleo já se encontravam em avaliação (CASTIGLIONI e OLIVEIRA, 2005).

Estudos atuais no Brasil, que avaliam o desempenho das cultivares de girassol além da produtividade de grãos, também avaliam a produtividade de óleo (PORTO et al., 2008; THOMAZ et al., 2012, SCHWERZ et al., 2015; DALCHIAVON et al., 2016) e informações relativas ao teor de óleo (SCHWERZ et al., 2015; DALCHIAVON et al., 2016), demonstrando que o principal produto obtido dos aquênios de girassol é a sua produtividade de óleo.

Elevadas produtividades de óleo podem ser alcançada pela seleção de genótipos com maior teor de óleo, ou pela seleção de genótipos que mantenham o percentual de óleo associado a maior produtividade de grãos. Conforme Castiglioni e Oliveira (2005) a cultura de Girassol, em função de suas características relacionadas a capacidade de adaptação, qualidade de óleo e tolerância a seca, apresenta excelentes perspectivas de expansão no Brasil. Nesse contexto, os programas devem buscar o lançamento de cultivares com elevado produtividade de grãos, alto teor de óleo, ciclo precoce a médio, porte reduzido, associado com tolerância a doenças.

3 ARTIGO I: PROGRESSO GENÉTICO EM AVEIA BRANCA ASSOCIADO AO USO DE FUNGICIDA, NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

D.N. Follmann¹, A. Cargnelutti Filho¹, A.D. Lúcio¹, V.Q. de Souza², M. Caraffa³, C.A. Wartha⁴

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Avenida Roraima, nº 1,000, Bairro Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil.

² Universidade Federal do Pampa, Rua 21 de abril, 80, São Gregório, 96450-000, Dom Pedrito, RS, Brasil.

³ Sociedade Educacional Três de Maio-SETREM, Departamento de Agronomia, Avenida Santa Rosa, 2405, Centro, CEP 98910-000, Três de Maio, RS, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, CEP 36570-900 Viçosa, MG, Brasil.

Autor correspondente: A. Cargnelutti Filho
E-mail: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

RESUMO - O estado do Rio Grande do Sul (RS) destaca-se como o maior produtor de aveia branca do Brasil, auxiliado por consolidados programas de melhoramento genético, que apresentam constantes lançamentos de novas cultivares. Os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar o progresso genético da produtividade de grãos e do peso hectolitro de cultivares de aveia branca, no RS, com e sem o uso de fungicida na parte aérea; 2) avaliar por meio da rede de ensaios, conduzida com e sem o uso de fungicida na parte aérea, a eficiência dos programas de melhoramento genético da cultura, na introdução de genes de resistência a doenças nas cultivares lançadas. Foram utilizados os dados de produtividade de grãos e peso hectolétrico, obtidos de 89 ensaios de competição de cultivares de aveia branca. Os ensaios foram realizados em nove municípios do RS, no período de 2007 a 2014. Do total de ensaios, 44 foram conduzidos com aplicação de fungicida na parte aérea e 45 sem aplicação de fungicida. Foi estudado o progresso genético utilizando o método proposto por Vencovsky. O progresso genético anual para a produtividade de grãos de aveia branca, no período de oito anos, no RS, foi de 1,02% com a utilização de fungicida, e de 4,02% sem a utilização de fungicida. Com relação ao peso hectolétrico, o progresso anual foi de 0,08% para ensaios com fungicida e 0,71% sem aplicação de fungicida. A condução da rede de ensaios, com e sem o uso de fungicida na parte aérea, é viável para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento, na introdução de genes de resistência a patógenos nas cultivares lançadas.

Palavras chave: *Avena sativa* L.; Cultivares; Melhoramento; Ganho genético; Tolerância a doenças.

3.1 Introdução

A cultura de aveia tem importante destaque em sistemas de produção de grãos, assim como para a integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil (Lângaro e Carvalho, 2014). Agronomicamente é uma alternativa econômica de inverno e fundamental na adoção do sistema de plantio direto. As cultivares modernas de aveia lançadas no país são resultados de eficiente trabalho de melhoramento genético, onde o aumento da qualidade e da produtividade de grãos permitem a diminuição das importações do cereal, além de favorecer o crescimento de indústrias de transformação e processamento de pequeno porte (Federizzi et al., 2005).

A aveia no Brasil apresentou progressivo aumento, com área de cultivo na safra 2013/2014 de 171300 hectares, com produtividade média de 2230 kg ha¹, representando um aumento de 1,5 % em área e 4,3 % em produtividade em relação ao ano anterior. O estado do Rio Grande do Sul tem destaque como o maior produtor da cultura, com área de cultivo na safra 2013/2014 de 102500 hectares e produtividade média de 2691 kg ha¹ (Conab, 2013). Ocupando a posição de segundo cereal mais cultivado no Sul do Brasil (Deuner et al., 2014).

O destaque da cultura de aveia branca (*Avena sativa* L.) deve-se aos constantes esforços de instituições públicas e privadas, que realizam pesquisas, entre outras, relacionadas ao melhoramento genético vegetal. Esses esforços podem ser mensurados com o estudo de progresso genético com base nas cultivares lançadas no mercado. A análise do progresso genético é importante para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento genético vegetal (Borges, 2009). Esse estudo pode, caso necessário, sugerir possíveis modificações em estratégias e metodologias utilizadas junto aos programas de melhoramento vegetal (Faria et al., 2007). Para a cultura de aveia branca, pode-se ressaltar os experimentos desenvolvidos por Barbosa Neto et al. (2000), no Brasil, e por Redaelli et al. (2008), na Itália. Além de estudos com cereais da mesma família como o trigo (Nedel et al., 1994; Rodrigues et al., 2007; Cargnin et al., 2008; Oury et al., 2012; Beche et al., 2014; Thomas and Graf, 2014; Wu et al., 2014), na cultura de arroz (Breseghello et al., 1999; Borges et al., 2009; Breseghello et al., 2011; do Vale et al., 2012) e milho pipoca (Ribeiro et al., 2012), e outras famílias como o feijão comum (Barili et al., 2016).

A utilização de ensaios de competição de cultivares em distintos locais e anos de avaliação, para a estimativa de progresso, foi proposta por Vencovsky et al. (1988). O progresso é estimado a partir da substituição de cultivares existentes por cultivares novas, supostamente superiores as excluídas. Uma das principais vantagens da utilização de dados de ensaios já conduzidos é a redução de custos em relação aos demais métodos (Toledo et al., 1990).

O estado do Rio Grande do Sul apresenta grande potencial de aumento de produtividade de aveia branca, devido a constantes investimentos em pesquisas na cultura. Entretanto, as doenças foliares, como a ferrugem da folha, têm destaque com grande potencial de agressividade (Chaves and Martinelli, 2005), reduzindo a produtividade e qualidade dos grãos de aveia (Martinelli et al., 2009). Assim, dividir os ensaios de cultivares com e sem tratamento com fungicida é relevante. Em estudos com o progresso genético de trigo na França, foram identificadas diferentes estimativas de progresso em função da adoção ou não de fungicida (Oury et al., 2012). No Brasil, diferenças em ensaios de aveia branca com e sem a utilização de fungicida também foram relatados em estudos de adaptabilidade e estabilidade (Lorencetti et al., 2004) e estratificação de ambientes (Benin et al., 2005).

Nos programas de melhoramento genético de aveia os critérios de seleção são de grande importância, onde na seleção final à resistência a doenças, maior número e qualidade de grãos são priorizados. Por qualidade de grãos pode ser atribuído o enchimento de grãos, peso hectolitro, relação casca/grão e rendimento industrial (Federizzi et al., 2005). De acordo com Lângaro e Carvalho (2014), o rendimento e a qualidade industrial de grãos de aveia são

de fundamental importância para a sua comercialização, onde para a indústria é levado em consideração a massa de mil grãos, peso hectolitro e a percentagem de grãos maiores que dois mm.

Na cultura de aveia branca a introdução de germoplasma estrangeiro pode vir beneficiar os programas de melhoramento no Brasil, proporcionando um *pool gênico* com novos grupos de genes e alelos, proporcionando ganhos genéticos para a cultura (Luche et al., 2013). A partir da década de 1970 foram realizadas parcerias entre instituições de pesquisa dos Estados Unidos e brasileiras, onde foram introduzidas fontes de resistência principalmente à ferrugem da folha e colmo (Federizzi et al., 2005). A ferrugem da folha é uma das principais doenças da cultura de aveia (Zambonato et al., 2012), a qual reduz a qualidade dos grãos (Doehlert et al., 2001). Supõe-se que houve progresso genético para a produtividade de grãos e o peso hectolétrico de aveia branca (*Avena sativa* L.), no RS, com e sem o uso de fungicida na parte aérea.

Os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar o progresso genético da produtividade de grãos e do peso hectolitro de cultivares de aveia branca, no RS, com e sem o uso de fungicida na parte aérea; 2) avaliar por meio da rede de ensaios, conduzida com e sem o uso de fungicida na parte aérea, a eficiência dos programas de melhoramento genético da cultura, na introdução de genes de resistência a doenças nas cultivares lançadas.

3.2 Material e métodos

Foram utilizados os dados de produtividade de grãos (PROD, em kg ha⁻¹) e de peso hectolétrico (PH, em kg 100 L⁻¹), de 89 ensaios pertencente a rede de competição de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.). Os ensaios foram realizados em nove municípios do RS, no período de 2007 a 2014 (Figura 1). Os dados foram obtidos em anais da Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (RCBPA), publicados anualmente junto ao congresso da RCBPA (Tabela 1).

Todos os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. As unidades experimentais foram constituídas por cinco fileiras de 0,17 a 0,20 m. Todas as unidades experimentais foram de 5,0 m de comprimento. A área útil da parcela oscilou de 4,25 a 5,0 m². O número de cultivares variou de 13 a 25 nos anos, com total de 36 durante o período (Tabela 2).

O cálculo do progresso genético foi realizado, individualmente, para os municípios de Eldorado do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Três de Maio. Nesses locais foram conduzidos ensaios em todos os anos de estudo. Já para o cálculo do progresso genético no RS, foram considerados os ensaios de cultivares conduzidos durante o período do estudo, nos municípios de Augusto Pestana, Cruz Alta, Eldorado do Sul, Ijuí, Itaqui, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio e Vacaria.

Os ensaios têm por finalidade gerar informações para recomendação de cultivares com melhor desempenho em exposição a distintos ambientes de cultivo. As cultivares com desempenho não satisfatório são descartadas e substituídas por outras, supostamente, com maior potencial produtivo. As cultivares que apresentam bom desempenho são mantidas para avaliação no ano subsequente.

Para o estudo do progresso genético foi utilizada a metodologia proposta por Vencovsky et al. (1988). Essa metodologia tem por base os dados gerados nos ensaios regionais de cultivares. Ela destina-se à obtenção de estimativas de ganhos genéticos, sendo o balanço do progresso genético realizado pelo método dos quadrados mínimos generalizados (Cruz, 2001).

Assim, inicialmente foram estimadas as taxas de cultivares incluídas (I), excluídas (E) mantidas (M) e renovadas (R) nos ensaios, em %, pelas seguintes expressões:

$$\%I = \frac{100I}{M + E + I}$$

$$\%E = \frac{100E}{M + E + I}$$

$$\%M = \frac{100M}{M + E + I}$$

$$\%R = \frac{100I}{M + I}$$

Em que: I = Número de cultivares incluídas no ano subsequente; E = Número de cultivares excluídas no ano anterior; M = Número de cultivares mantidas de um ano para o outro; e R = renovação de cultivares (Cruz, 2001).

Após, foi estimado o ganho genético, em cada biênio, com o modelo da regressão linear, proposto por Vencovsky et al. (1988), que consiste em:

$$\hat{G}g = (\bar{y}2 - \bar{y}1) - (\bar{y}c2 - \bar{y}c1)$$

Onde:

$\hat{G}g$ = Estimativa do ganho genético

$\bar{y}1$ = Média geral das cultivares no ensaio do ano 1.

$\bar{y}2$ = Média geral das cultivares no ensaio do ano 2.

$\bar{y}c1$ = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 1.

$\bar{y}c2$ = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 2.

Nessa metodologia a diferença bruta é obtida por $(\bar{y}2 - \bar{y}1)$ e a diferença ambiental por $(\bar{y}c2 - \bar{y}c1)$. Assim, a estimativa do ganho genético é obtida pela diferença bruta menos a diferença ambiental (Vencovsky et al., 1988).

Posteriormente, foi determinado o balanço do progresso genético pelo método dos quadrados mínimos generalizados, conforme descrição em Cruz (2001). Obteve-se a média de ganho genético do período ($\mu\hat{G}g$), em $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para a produtividade de grãos e em $\text{kg } 100 \text{L}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para o peso hectolítrico. Depois, calculou-se a percentagem de progresso genético anual pela expressão $(\frac{\mu\hat{G}g}{\bar{y}1} * 100)$.

Para as análises estatísticas foram utilizados os aplicativos Microsoft Excel e GENES (Cruz, 2013).

3.3 Resultados e discussão

Os ensaios de avaliação de cultivares de aveia branca, avaliados durante o período de oito anos no estado do Rio Grande do Sul (Tabela 2), apresentaram equilibrada distribuição entre as cultivares com e sem a aplicação de fungicidas na parte aérea. Sobretudo, apresentaram um bom balanceamento quanto aos locais de instalação dos ensaios, com destaque para os ensaios conduzidos em Eldorado do Sul, Pelotas, Três de Maio com e sem utilização de fungicida e Passo Fundo sem fungicida. Estes ensaios, estiveram presentes em todos os anos de avaliação, também com boa representação anual dos locais, que apresentaram variação mínima de 5 e máxima de 7 locais durante o período de estudo. Em

estudo relativo ao progresso genético com a cultura de arroz irrigado em Minas Gerais não foi encontrado o mesmo balanceamento, onde dentre os quatro locais de estudo, nenhum esteve presente em todos os anos de avaliação e a variação dos locais de ensaios por ano foi de 1 a 4 ensaios (Do Vale et al., 2012). Assim, pode-se inferir que o banco de dados foi adequado para avaliar o progresso genético da cultura nesse período.

As médias das taxas de inclusão (13,6%), exclusão (7,5%) e renovação (14,8%) de cultivares, durante o período de 2007 a 2014, foram menores em comparação a taxa de manutenção (78,8%) (Tabela 3). A taxa de manutenção de cultivares foi elevada, em comparação aos valores encontrados em estudos de progresso genético na cultura de trigo com 52% (Cargnin et al., 2007) e 58% com a cultura de arroz (Do Vale et al., 2012).

Em todos os locais (Augusto Pestana, Cruz Alta, Eldorado do Sul, Ijuí, Itaqui, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio, Vacaria) e anos (2007 a 2014) e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), a média de produtividade de grãos das cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.), nos ensaios com fungicida foi superior quando comparada a média nos ensaios sem aplicação de fungicida na parte aérea (Tabela 4). Esse mesmo comportamento foi verificado para o peso hectolítrico, com exceção de Pelotas e Vacaria em 2008 e Passo Fundo em 2012, em que a média de peso hectolítrico foi maior nos ensaios sem fungicida.

A média geral de produtividade de grãos, ou seja, considerando todos os locais e anos, foi de 2863,37 kg ha⁻¹ nos ensaios com fungicida. Nos ensaios sem fungicida, a produtividade de grãos foi de 1941,56 kg ha⁻¹, ou seja, a diferença foi de 921,81 kg ha⁻¹, que corresponde a redução de 32,19%. Já para o peso hectolítrico a média com fungicida foi 46,79 kg 100 L⁻¹ e sem fungicida foi 41,28 kg 100 L⁻¹, reduzindo 11,78%. Esses resultados demonstram que a aplicação de controle químico com fungicida proporciona manutenção de potencial produtivo e qualidade dos grãos produzidos.

Essa redução de potencial produtivo e de qualidade industrial, sem a utilização de fungicida, para a cultura de aveia branca, pode estar associada às condições ambientais favoráveis aos patógenos, à susceptibilidade genética das cultivares ao patógeno e à presença de patógeno. Conforme Deuner et al. (2014), devido a aveia branca ser o segundo cereal mais cultivado no Sul do Brasil, o acréscimo da área de cultivo, aumenta o risco de epidemias. Dentre as doenças fúngicas, que apresentam maior importância para a cultura, destacam-se a ferrugem da folha, a ferrugem do colmo e a helmintosporiose, cujo agente causal corresponde, respectivamente, aos fungos *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* e *Drechslera avenae*. A ferrugem da folha é a moléstia que vêm apresentando-se como a mais destrutiva na cultura de aveia (Chaves and Martinelli, 2005), com redução da qualidade e produtividade de grãos que pode chegar até 50%. De acordo com Martinelli et al. (2009), em aveia, a efetividade dos genes de resistência ao patógeno é baixa e a virulência das raças encontradas no sul do Brasil é complexa. Esse cenário justifica os esforços de condução de ensaios com e sem a utilização de fungicida foliar na cultura de aveia branca.

Os ensaios de cultivares de aveia branca, com e sem utilização de fungicida, apresentaram resultados satisfatórios, visto que o progresso genético no período de 2007 a 2014 foi maior nos ensaios sem a aplicação de fungicida (Tabela 5), exceto nos ensaios conduzidos em Passo Fundo. Ressalta-se que as cultivares avaliadas, com e sem fungicida, foram as mesmas, o que possibilita afirmar que as introgressões de genes e a piramidização de genes para resistência, aos principais agentes patogênicos da cultura, está sendo eficiente. A influência do uso de fungicidas na cultura de aveia, já foi relatada em estudos de adaptabilidade e estabilidade, nos quais foi relatada a necessidade de estratificação dos ambientes em função do uso ou não de fungicida, visto que o mesmo influenciou nos resultados (Lorencetti et al., 2004; Benin et al., 2005).

O progresso genético para a produtividade de grãos, de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.), no estado do Rio Grande do Sul, durante o período de 2007 a 2014, foi de

21,17 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (1,02% ao ano) com utilização de fungicida e de 52,12 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (4,02% ao ano) sem utilização de fungicida (Tabela 5). Já o peso hectolítrico apresentou progresso genético de 0,04 kg 100 L⁻¹ ano⁻¹ (0,08% ao ano) com utilização de fungicida e 0,27 kg 100 L⁻¹ ano⁻¹ (0,71% ao ano) sem utilização de fungicida. Assim, pode-se inferir que houve maior progresso genético nos ensaios conduzidos sem o uso de fungicida.

Quanto a produtividade de grãos, em estudos recentes com a cultura de trigo foi obtido progresso genético de 0,92% ao ano no Brasil (Beche et al., 2014), 0,67% ao ano no Canadá (Thomas and Graf, 2014) e 1,00% ao ano na China (Wu et al., 2014). Para a cultura de arroz, no Brasil, houve progresso genético de 0,67% ao ano (Bresseghele et al., 2011), e ausência de progresso genético no programa de arroz de terras altas do estado de Minas Gerais (Borges et al., 2009), para a cultura de feijão carioca no estado de Minas Gerais o progresso genético foi de 6,74% ao ano (Barili et al., 2016). Em aveia branca não foram encontrados estudos que pudessem ser utilizados como comparativos.

Em relação ao peso hectolítrico, os resultados desse estudo, revelam que as estratégias dos programas de melhoramento estão sendo eficientes para o aumento de peso hectolítrico. Como o peso hectolítrico é uma medida relacionada à qualidade de grãos (Lângaro e Carvalho, 2014), e considerado um critério de seleção nos programas de melhoramento de aveia branca no Sul do Brasil (Federizzi, et al., 2005), é importante que o seu progresso genético seja avaliado. Durante o período de 1957 a 1996, Barbosa Neto et al. (2000), relataram progresso genético de 0,3% ao ano, para o peso hectolítrico em aveia branca.

O ataque de patógenos, o avanço de doenças foliares e a ação de hormônios como o etileno, proporcionam elevado gasto de energia às plantas ao desenvolverem estratégias de defesa e podem vir a proporcionar maior senescência foliar (Taiz and Zeiger, 2013). Essa menor área foliar proporcionada pela maior taxa de senescência de folhas pode vir a justificar o maior progresso genético em ensaios sem a presença de fungicida. Nesses ensaios sem fungicida, ao ser introduzido genes de resistência as principais raças de patógenos em novas cultivares, as mesmas sofrem menor efeito dos danos dos patógenos ao crescimento vegetativo. O menor crescimento em função da diminuição de área foliar foi observado em espécie da mesma família (*Triticum aestivum* L.). Nesse estudo foi constatado que com o aumento da taxa de desfolha artificial houve redução progressiva da produtividade de grãos e do peso hectolítrico do trigo (Souza et al., 2013).

O progresso genético, no período de 2007 a 2014, foi diferente entre os quatro locais estudados individualmente (Eldorado do Sul, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio). Para a produtividade de grãos, com fungicida, o maior progresso genético anual foi em Passo Fundo (3,57%) e o menor em Pelotas (0,09%). Já a produtividade de grãos, sem fungicida, apresentou resultados opostos, ou seja, maior progresso em Pelotas (6,56%) e menor em Passo Fundo (2,51%) (Tabela 5). Esses resultados podem estar relacionados às distintas condições climáticas desses locais, pois a altitude em Passo Fundo é 687 m e em Pelotas é de apenas 13 m. Conseqüentemente, a temperatura média do ar é maior em ambientes com menor altitude, o que proporciona maior taxa de progresso de patógenos. Quanto ao peso hectolítrico, com fungicida, o menor progresso genético anual foi em Três de Maio com -0,15%, seguido de Pelotas com 0,16%, Eldorado do Sul com 0,32% e o maior progresso foi em Passo Fundo com 0,65%. Já, o progresso genético anual do peso hectolítrico, sem fungicida, oscilou entre 0,42%, em Pelotas e 1,28% em Eldorado do Sul (Tabela 5).

Na cultura de aveia branca o progresso genético na Itália, variou entre os locais de estudo (Redaelli et al., 2008). Na China, com a cultura de trigo, o progresso genético também foi variável em função da região de cultivo, e os pesquisadores sugeriram reformular as estratégias dos programas de melhoramento genético para as regiões com baixas taxas de progresso (Wu et al., 2014).

Estudos semelhantes a esse podem vir a ser realizados em outras culturas que fazem uso de ensaios comparativos com e sem fungicidas. Essa diferenciação de resultados com e sem fungicida, também foi observada com o progresso genético na cultura do trigo, onde o mesmo foi maior em ensaios sem a utilização de fungicida, indicando que os esforços dos programas de melhoramento para lançar cultivares com resistência a doenças estão apresentando resultados aditivos com relação à produtividade de grãos (Oury et al., 2012).

3.4 Conclusão

O progresso genético anual para a produtividade de grãos de aveia branca, no período de oito anos, no RS, foi de 1,02% com a utilização de fungicida, e de 4,02% sem a utilização de fungicida. Com relação ao peso hectolétrico, o progresso anual foi de 0,08% para ensaios com fungicida e 0,71% sem aplicação de fungicida. A condução da rede de ensaios, com e sem o uso de fungicida na parte aérea, é viável para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento, tendo em vista a introdução de genes de resistência a patógenos nas cultivares lançadas.

3.5 Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a bolsa de produtividade em pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudo.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

3.6 Referências

Barbosa Neto JF, Matiello RR, Carvalho FIF, Oliveira JMS, et al. (2000). Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no sul do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 35: 1605-1612.

Barili LD, Vale NM, Moura LM, Paula RG, et al. (2016). Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. *Genet. Mol. Res.* 15: 1-11.

Beche E, Benin G, Silva CL, Munaro LB, et al. (2014). Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 61: 49-59.

Benin G, Carvalho FIF, Oliveira AC, Lorencetti C, et al. (2005). Adaptabilidade e estabilidade em aveia em ambientes estratificados. *Cienc. Rural* 35: 295-302.

Borges V, Soares AA, Resende MDV, Reis MS, et al. (2009). Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de minas gerais utilizando modelos mistos. *Rev. Bras. Biom.* 27: 478-490.

Breseghello F, Moraes OP, Pinheiro PV, Silva ACS, et al. (2011). Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. *Crop Sci.* 51: 914-923.

Breseghello F, Rangel PHN and Moraes OP (1999). Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 34: 399- 407.

Cargnin A, Souza MA and Fronza V (2008). Progress in breeding of irrigated wheat for the cerrado region of Brazil. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 8: 39-46.

Chaves MS and Martinelli JA (2005). Ferrugem da folha da aveia: aspectos epidemiológicos e perspectivas de controle através da resistência genética na região sul do Brasil. *Rev. Bras. Agroc. 11: 397-403.*

Conab (2013). Acompanhamento da safra brasileira. Available at [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_16_05_53_boletim_portugues_setembro_2013.pdf]. Accessed August 30, 2016.

Cruz CD (2001). Programa genes: versão windows; aplicativo computacional em genética e estatística. 1st edn. Editora UFV, Viçosa.

Cruz CD (2013). Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci. Agron.* 35: 271-276.

Deuner CC, Martinelli JA, Boller W and Schons J (2014). Manejo de doenças. In: Lângaro NC and Carvalho IQ (org.) Indicações técnicas para a cultura da aveia: XXXIV Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia. 1st edn. Editora UPF, Passo Fundo.

Doehlert DC, McMullen MS and Hammond JJ (2001). Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *Crop Sci.* 41: 1066-1072.

DoVale JC, Soares PC, Cornélio VMO, Reis MS, et al. (2012). Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em minas gerais no período de 1998 a 2010. *Bragantia* 71: 460-466.

Faria AP, Fonseca Júnior NS, Destro D and Faria RT (2007). Ganho genético na cultura da soja. *Semin. Cienc. Agrár.* 28: 71-78.

Federizzi LC, Milach SCK, Pacheco MT, Barbosa Neto JF, et al. (2005). Melhoramento da aveia. In: Borém, A. Melhoramento de espécies cultivadas. 2nd edn. Editora UFV, Viçosa.

Lângaro NC and Carvalho IQ (2014). Indicações técnicas para a cultura da aveia: XXXIV Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia. 1st edn. Editora UPF, Passo Fundo.

Lorencetti C, Carvalho FIF, Marchioro VS, Benin G, et al. (2004). Implicações da aplicação de fungicida na adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos em aveia branca. *Cienc. Rural* 34: 693-700.

Luche HS, Nornberg R, Crestani M, Ribeiro G, et al. (2013). Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade em cultivares brasileiras e estrangeiras de aveia branca. *Curr. Agric. Sci. Tech.* 19: 31-40.

Martinelli JA, Chaves MS, Federizzi LC and Savi V (2009). Expressão da resistência parcial à ferrugem da folha da aveia presente na linhagem MN841801, no ambiente do sul do Brasil. *Cienc. Rural* 39: 1335-1342.

Nedel JL (1994). Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. *Pesq. Agropec. Bras.* 29: 1565-1570.

Oury FX, Godin C, Mailliard A, Chassin A, et al. (2012). A study of genetic progress due to selection reveals a negative effect of climate change on bread wheat yield in France. *Eur. J. Agron.* 40: 28-38.

RCBPA (2008). Resultados experimentais da XXVIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

RCBPA (2009). Resultados experimentais da XXIX Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RCBPA (2010). Resultados experimentais da XXX Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos.

RCBPA (2011). Resultados experimentais da XXXI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo.

- RCBPA (2012). Resultados experimentais da XXXII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Embrapa Trigo. Passo Fundo.
- RCBPA (2013). Resultados experimentais da XXXIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.
- RCBPA (2014). Resultados experimentais da XXXIV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Fundação ABC. Castro.
- RCBPA (2015). Resultados experimentais da XXXV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Redaelli R, Laganà P, Rizza F, Nicosia OLD, et al. (2008). Genetic progress of oats in Italy. *Euphytica* 164: 679-687.
- Ribeiro RM, Amaral Júnior AT, Gonçalves LSA, Candido LS, et al. (2012). Genetic progress in the UNB-2U population of popcorn under recurrent selection in Rio de Janeiro, Brazil. *Genet. Mol. Res.* 15: 1417-1423.
- Rodrigues O, Lhamby JCB, Didonet AD and Marchese JA (2007). Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. *Pesq. Agropec. Bras.* 42: 817-825.
- Souza VQ, Nardino M, Bonato GO, Bahry CA, et al. (2013). Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre características agronômicas em trigo. *Biosci. J.* 29: 1905-1911.
- Taiz L and Zeiger E (2013). Fisiologia vegetal. 5th edn. Editora Artmed, Porto Alegre.
- Thomas JB and Graf RJ (2014). Rates of yield gain of hard red spring wheat in western Canada. *Can. J. Plant Sci.* 94: 1-13.
- Toledo JFF, Almeida LA, Kiihl RAS and Menosso OG (1990). Ganho genético em soja no estado do Paraná, via melhoramento. *Pesq. Agropec. Bras.* 25: 89-94.
- Vencovsky R, Morais AR, Garcia JC and Teixeira NM (1988). Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: Congresso nacional de milho e sorgo, Belo Horizonte. Anais... Sete Lagoas, EMBRAPA: CNPMS 16: 300-307.
- Wu W, Li C, Ma B, Shah F, et al. (2014). Genetic progress in wheat yield and associated traits in China since 1945 and future prospects. *Euphytica* 196: 155-168.
- Zambonato F, Federizzi LC, Pacheco MT, Arruda MP, et al. (2012). Phenotypic and genetic characterization of partial resistance to crown rust in *Avena sativa* L. *Crop Breed. Appl. Biotech.* 12: 261-268.

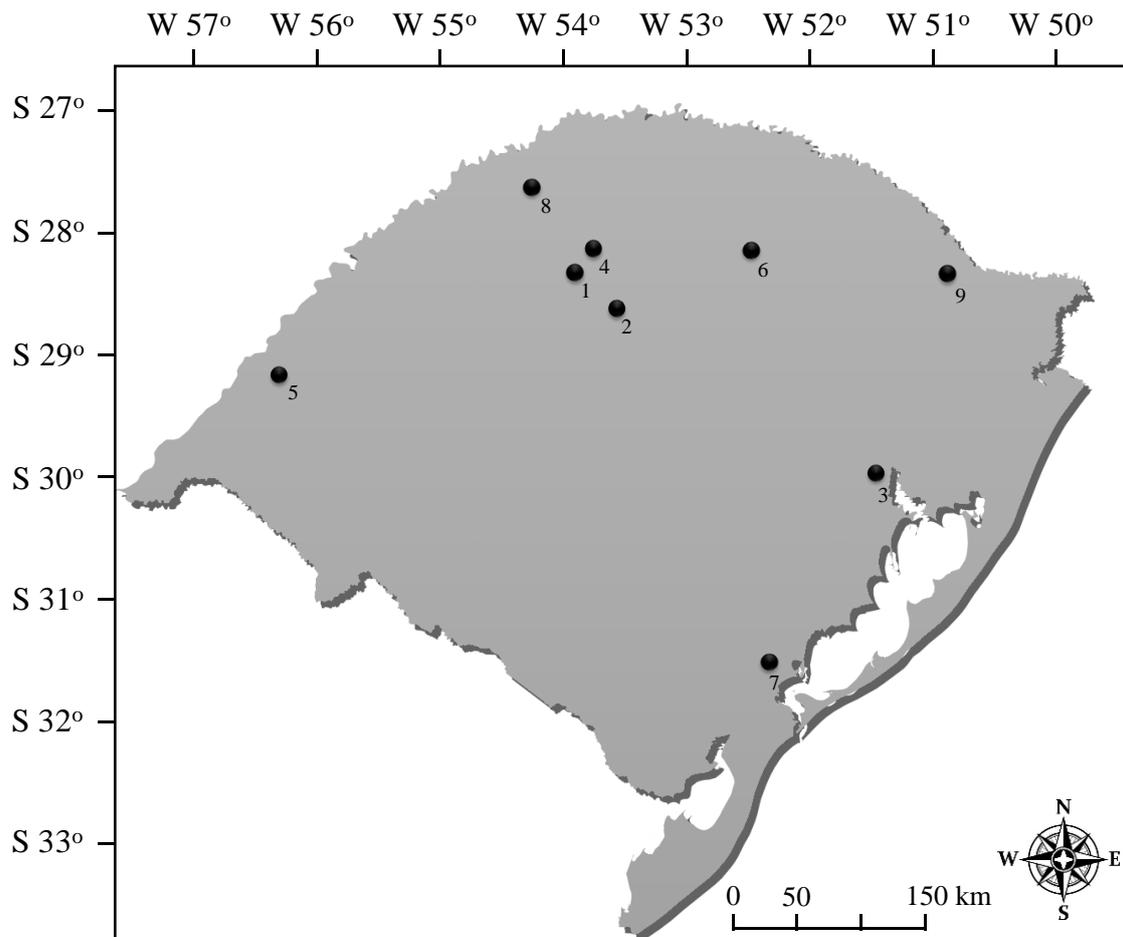


Figura 1: Representação geográfica dos locais de condução dos ensaios de aveia branca no Rio Grande do Sul, organizados pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, durante o período de 2007 a 2014, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. 1 = Augusto Pestana; 2 = Cruz Alta; 3 = Eldorado do sul; 4 = Ijuí; 5 = Itaqui; 6 = Passo Fundo; 7 = Pelotas; 8 = Três de Maio; 9 = Vacaria.

Tabela 1: Relação cronológica dos trabalhos científicos da Reunião Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, utilizados no presente trabalho.

Trabalho	Ano	Referência principal	Autores	Página		N° de ensaios
				Inicial	Final	
1	2007	RCBPA, 2008	Floss et al., 2008	143	146	2
2	2007	RCBPA, 2008	Nornberg et al., 2008	159	161	2
3	2007	RCBPA, 2008	Pacheco and Federizzi, 2008	162	165	2
4	2007	RCBPA, 2008	Floss et al., 2008	166	168	2
5	2007	RCBPA, 2008	Garrafa et al., 2008	185	187	2
6	2008	RCBPA, 2009	Nornberg et al., 2009	358	360	2
7	2008	RCBPA, 2009	Pacheco et al., 2009	361	362	2
8	2008	RCBPA, 2009	Matter et al., 2009	363	365	2
9	2008	RCBPA, 2009	Garrafa et al., 2009	366	369	2
10	2008	RCBPA, 2009	Floss et al., 2009	370	377	2
11	2008	RCBPA, 2009	Floss et al., 2009	401	405	4
12	2009	RCBPA, 2010	Toigo et al., 2010	343	346	2
13	2009	RCBPA, 2010	Tessmann et al., 2010	351	354	2
14	2009	RCBPA, 2010	Matter et al., 2010	357	360	2
15	2009	RCBPA, 2010	Lângaro et al., 2010	361	366	2
16	2009	RCBPA, 2010	Pacheco et al., 2010	367	369	2
17	2009	RCBPA, 2010	Caraffa et al., 2010	370	374	2
18	2010	RCBPA, 2011	Lângaro et al., 2011	365	372	2
19	2010	RCBPA, 2011	Arenhardt et al., 2011	388	392	2
20	2010	RCBPA, 2011	Pacheco et al., 2011	393	395	2
21	2010	RCBPA, 2011	Lângaro et al., 2011	404	409	2
22	2010	RCBPA, 2011	Garaffa et al., 2011	425	429	2
23	2011	RCBPA, 2012	Ubessi et al., 2012	1	4	2
24	2011	RCBPA, 2012	Pacheco et al., 2012	1	3	2
25	2011	RCBPA, 2012	Lângaro et al., 2012	1	9	2
26	2011	RCBPA, 2012	Santos et al., 2012	1	4	2
27	2011	RCBPA, 2012	Garaffa et al., 2012	1	5	2
28	2012	RCBPA, 2013	Wohlenberg et al., 2013	1	4	2
29	2012	RCBPA, 2013	Pacheco et al., 2013	1	3	2
30	2012	RCBPA, 2013	Lângaro et al., 2013	1	4	2
31	2012	RCBPA, 2013	Santos et al., 2013	1	4	2
32	2012	RCBPA, 2013	Caraffa et al., 2013	1	5	2
33	2013	RCBPA, 2014	Silva et al., 2014	1	4	2
34	2013	RCBPA, 2014	Federizzi et al., 2014	1	3	2
35	2013	RCBPA, 2014	Fortes et al., 2014	1	4	2
36	2013	RCBPA, 2014	Lângaro et al., 2014	1	4	1
37	2013	RCBPA, 2014	Thurrow et al., 2014	1	4	2
38	2013	RCBPA, 2014	Caraffa et al., 2014	1	4	2
39	2014	RCBPA, 2015	Silva et al., 2015	1	4	2
40	2014	RCBPA, 2015	Pacheco et al., 2015	1	3	2
41	2014	RCBPA, 2015	Silva et al., 2015	1	4	2
42	2014	RCBPA, 2015	Lângaro et al., 2015	1	4	2
43	2014	RCBPA, 2015	Lângaro et al., 2015	1	33	2
44	2014	RCBPA, 2015	Caraffa et al., 2015	1	4	2

Tabela 2: Anos, locais e números de ensaios e de cultivares avaliadas na rede de ensaios de competição de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.), no período de 2007 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil, com e sem aplicação de fungicida na parte aérea.

Anos	Locais									Ensaio	Cultivares
	Augusto Pestana	Cruz Alta	Eldorado do Sul	Ijuí	Itaqui	Passo Fundo	Pelotas	Três de Maio	Vacaria		
Com fungicida											
2007	-	1	1	-	-	1	1	1	-	5	13
2008	-	1	1	1	-	1	1	1	1	7	14
2009	-	-	1	1	-	1	1	1	1	6	18
2010	1	-	1	-	-	1	1	1	-	5	25
2011	1	-	1	-	-	1	1	1	-	5	25
2012	1	-	1	-	-	1	1	1	-	5	25
2013	1	-	1	-	1	-	1	1	-	5	22
2014	1	-	1	-	1	1	1	1	-	6	22
Sem fungicida											
2007	-	1	1	-	-	1	1	1	-	5	13
2008	-	1	1	1	-	1	1	1	1	7	14
2009	-	-	1	1	-	1	1	1	1	6	18
2010	1	-	1	-	-	1	1	1	-	5	25
2011	1	-	1	-	-	1	1	1	-	5	25
2012	1	-	1	-	-	1	1	1	-	5	25
2013	1	-	1	-	1	1	1	1	-	6	22
2014	1	-	1	-	1	1	1	1	-	6	22
Total	10	4	16	4	4	15	16	16	4	89	36

- ausência de ensaio

Tabela 3: Taxas de inclusão, exclusão, manutenção e renovação de cultivares avaliadas na rede de ensaios de competição de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.), no período de 2007 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Biênios	Inclusão (%)	Exclusão (%)	Manutenção (%)	Renovação (%)
2008/2007	7,1	0,0	92,9	7,1
2009/2008	26,3	5,3	68,4	27,8
2010/2009	30,8	3,8	65,4	32,0
2011/2010	19,3	19,4	61,2	24,0
2012/2011	7,4	7,4	85,2	8,0
2013/2012	0,0	12,0	88,0	0,0
2014/2013	4,3	4,3	91,3	4,5
Média de 8 anos	13,6	7,5	78,9	14,8

Tabela 4: Médias de produtividade de grãos e de peso hectolítrico, em kg 100 L⁻¹, com e sem aplicação de fungicida na parte aérea, de cultivares avaliadas na rede de ensaios de competição de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.), no período de 2007 a 2014, por locais (Augusto Pestana, Cruz Alta, Eldorado do Sul, Ijuí, Itaqui, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio, Vacaria) e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Local/Estado	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	Produtividade de grãos com fungicida, em kg ha ⁻¹							
Augusto Pestana	-	-	-	2119,08	3012,48	3961,68	3572,59	2517,34
Cruz Alta	1026,85	1360,57	-	-	-	-	-	-
Eldorado do Sul	3080,23	4116,00	3896,72	3570,88	4863,56	2601,84	4196,73	3210,97
Ijuí	-	1622,43	2499,94	-	-	-	-	-
Itaqui	-	-	-	-	-	-	1292,86	1292,81
Passo Fundo	2429,85	1719,64	3453,72	3428,36	4072,48	1502,88	-	2570,15
Pelotas	1247,92	1884,21	1591,28	2532,04	4136,76	2455,00	2564,45	1281,90
Três de Maio	2604,15	3311,64	3598,72	2204,28	2792,44	2979,96	4491,86	2707,00
Vacaria	-	3899,79	4270,83	-	-	-	-	-
Média (RS)	2077,80	2559,18	3218,54	2770,93	3775,54	2700,27	3223,70	2263,36
	Produtividade de grãos sem fungicida, em kg ha ⁻¹							
Augusto Pestana	-	-	-	1508,04	2282,04	2864,32	2236,14	1486,20
Cruz Alta	564,38	657,29	-	-	-	-	-	-
Eldorado do Sul	1906,77	1826,79	3367,39	2016,84	3374,00	1864,08	3208,36	1648,76
Ijuí	-	544,36	1764,06	-	-	-	-	-
Itaqui	-	-	-	-	-	-	1172,68	1172,77
Passo Fundo	1704,31	762,64	2362,67	2429,88	3185,08	1427,00	2090,55	1308,96
Pelotas	528,85	850,86	1494,83	1712,04	3201,64	1142,12	1985,41	783,19
Três de Maio	1772,23	1660,21	3201,83	1797,24	1549,96	1836,80	3259,41	1591,14
Vacaria	-	2741,29	2724,61	-	-	-	-	-
Média (RS)	1295,31	1291,92	2485,90	1892,81	2718,54	1826,86	2325,42	1331,84
	Peso hectolítrico com fungicida, em kg 100 L ⁻¹							
Augusto Pestana	-	-	-	46,46	52,10	49,60	51,64	48,31
Cruz Alta	-	-	-	-	-	-	-	-
Eldorado do Sul	53,02	53,79	52,50	54,08	49,85	43,53	52,77	52,13
Ijuí	-	45,40	40,67	-	-	-	-	-
Itaqui	-	-	-	-	-	-	43,05	43,05
Passo Fundo	50,66	40,01	52,50	49,88	54,41	40,42	-	46,64
Pelotas	48,85	34,86	46,67	45,16	54,36	51,65	51,23	46,40
Três de Maio	40,06	43,42	39,67	36,71	44,00	44,80	47,05	27,24
Vacaria	-	43,82	45,33	-	-	-	-	-
Média (RS)	48,15	43,55	46,22	46,46	50,94	46,00	49,15	43,96
	Peso hectolítrico sem fungicida, em kg 100 L ⁻¹							
Augusto Pestana	-	-	-	40,82	49,37	43,13	45,27	44,57
Cruz Alta	-	-	-	-	-	-	-	-
Eldorado do Sul	43,68	40,46	50,11	45,28	41,06	37,02	46,18	40,97
Ijuí	-	36,06	33,44	-	-	-	-	-
Itaqui	-	-	-	-	-	-	42,73	42,75
Passo Fundo	40,21	31,23	45,00	44,40	50,28	44,17	38,86	37,58
Pelotas	33,10	44,71	44,67	39,74	51,15	41,33	46,32	37,63
Três de Maio	34,37	33,57	37,44	33,72	37,77	38,73	43,41	23,45
Vacaria	-	43,89	41,56	-	-	-	-	-
Média (RS)	37,84	38,32	42,04	40,79	45,93	40,87	43,80	37,83

- ausência de ensaio

Tabela 5: Média de progresso genético anual e percentagem de progresso genético anual para a produtividade de grãos e peso hectolítrico, de cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.), calculadas por locais (Eldorado do Sul, Passo Fundo, Pelotas, Três de Maio) e no geral do estado do Rio Grande do Sul, durante o período de 2007 a 2014.

Local/Estado	Produtividade de grãos		Peso hectolítrico	
	Progresso genético (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Progresso genético anual (%)	Progresso genético (kg 100 L ⁻¹ ano ⁻¹)	Progresso genético anual (%)
Com fungicida				
Eldorado do Sul	32,30	1,05	0,17	0,32
Passo Fundo	86,86*	3,57	0,33*	0,65
Pelotas	1,18	0,09	0,08	0,16
Três de Maio	18,68	0,72	-0,06	-0,15
Rio Grande do Sul	21,17	1,02	0,04	0,08
Sem fungicida				
Eldorado do Sul	73,96	3,88	0,56	1,28
Passo Fundo	42,86	2,51	0,31	0,77
Pelotas	34,68	6,56	0,14	0,42
Três de Maio	66,48	3,75	0,28	0,81
Rio Grande do Sul	52,12	4,02	0,27	0,71

*Ganho genético estimado com sete ensaios em oito anos.

4 ARTIGO II: PROGRESSO GENÉTICO EM REGIÕES HOMOGÊNEAS DE CULTIVO DE TRIGO NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

D.N. Follmann¹, A. Cargnelutti Filho¹, A.D. Lúcio¹, V.Q. de Souza², M. Caraffa³, C.A. Wartha⁴

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Avenida Roraima, nº 1,000, Bairro Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil.

² Universidade Federal do Pampa, Rua 21 de abril, 80, São Gregório, CEP 96450-000, Dom Pedrito, RS, Brasil.

³ Sociedade Educacional Três de Maio-SETREM, Departamento de Agronomia, Avenida Santa Rosa, 2405, Centro, CEP 98910-000, Três de Maio, RS, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia. CEP 36570-900 Viçosa, MG, Brasil.

Autor correspondente: A. Cargnelutti Filho

E-mail: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

RESUMO - O estado do Rio Grande do Sul (RS) destaca-se como o maior produtor de trigo do Brasil. O trigo é o cereal de inverno com maior destaque no RS, atraindo investimentos públicos e privados direcionados ao melhoramento genético da cultura. O estudo do progresso genético deve ser realizado em períodos frequentes junto aos programas de melhoramento genético, para avaliar o comportamento das cultivares desenvolvidas para as regiões homogêneas de cultivo. Os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar o progresso genético da produtividade de grãos de trigo no RS; 2) avaliar a influência da estratificação de ensaios de competição de cultivares, em regiões homogêneas de cultivo, no estudo do progresso genético. Foram utilizados os dados de produtividade de grãos de 122 cultivares de trigo avaliadas em 137 ensaios, em delineamento blocos ao acaso com três a quatro repetições. Os ensaios foram realizados em 23 locais do RS, no período de 2002 a 2013, divididos em duas regiões homogêneas. Foi estudado o progresso genético para o RS e para as regiões homogêneas, utilizando o método proposto por Vencovsky. O progresso genético anual para a produtividade de grãos de trigo, no período de 12 anos, no estado do Rio Grande do Sul foi de 2,86%, oscilando entre as regiões homogêneas de cultivo. A diferença de progresso genético anual da região 1 (1,82%) em relação a região 2 (4,38%) justifica o estudo do progresso genético, por regiões homogêneas de cultivo.

Palavras chave: *Triticum aestivum* L.; ganho genético; melhoramento vegetal.

4.1 Introdução

A cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.) foi introduzida no Brasil pelos colonizadores e o desenvolvimento de novas variedades iniciou em 1914. Desde então, as produtividades de grãos com a cultura foram crescentes, demonstrando a eficiência dos programas de melhoramento genético em desenvolver cultivares com alto potencial de produtividade e qualidade de grãos. Esse progresso ocorreu devido à busca dos programas de melhoramento por genótipos com melhores características agrônômicas, resistência às principais moléstias e qualidade na panificação (Federizzi et al., 2005).

No estado do Rio Grande do Sul (RS), na safra de 2013, foi semeado área de 1,0302 milhões de hectares com a cultura de trigo. O RS destacou-se como o maior produtor de trigo do Brasil com produção de 2,5034 milhões de toneladas. Produção essa, superior a metade da produção brasileira do cereal, que correspondeu para o ano de 2013 a 4,9522 milhões de toneladas (Conab, 2013).

As pesquisas relacionadas com o melhoramento genético de trigo no Brasil iniciaram com os programas de melhoramento, há aproximadamente 100 anos no RS. Essas pesquisas continuam com grande destaque até os dias atuais, devido à presença de empresas de melhoramento da cultura no RS, com o constante lançamento de cultivares (Souza and Caierão, 2014).

O estudo do progresso genético é uma maneira de avaliar a eficiência desses programas de melhoramento (Borges et al., 2009). A estimação do progresso genético com ensaios de cultivares já conduzidos foi proposto, inicialmente, com a cultura de milho por Vencovsky et al. (1988), sendo considerado um método eficiente e prático pelo aproveitamento de ensaios já realizados (Faria et al., 2007). O mesmo com base no método dos mínimos quadrados generalizados proporciona o estudo do balanço do ganho genético do programa de melhoramento (Cruz, 2001).

Estudos de progresso genético têm sido realizados com a cultura de trigo (Nedel et al., 1994; Rodrigues et al., 2007; Cargnin et al., 2008; Oury et al., 2012; Beche et al., 2014; Thomas and Graf, 2014; Wu et al., 2014; Gummadov et al., 2015) e com cereais da mesma família do trigo, dentre eles a cultura de aveia branca (Barbosa Neto et al., 2000; Redaelli et al., 2008) e a cultura de arroz (Bresaghelto et al., 1999; Borges et al., 2009; Bresaghelto et al., 2011; DoVale et al., 2012). Supõe-se que houve progresso genético, para produtividade de grãos de trigo, no RS, influenciado por regiões homogêneas de cultivo.

Os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar o progresso genético da produtividade de grãos de trigo no RS; 2) avaliar a influência da estratificação de ensaios de competição de cultivares, em regiões homogêneas de cultivo, no estudo do progresso genético.

4.2 Material e métodos

Foram utilizados os dados de produtividade de grãos, em kg ha⁻¹, de 137 ensaios de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.). Os ensaios foram realizados em vinte e três municípios do RS, no período de 2002 a 2013, divididos em duas regiões homogêneas de cultivo (Figura 1). Os dados foram obtidos em documentos informativos publicados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). Nesses documentos foram publicados, anualmente, os resultados dos Ensaios Estaduais de Cultivares de Trigo (EECT), conduzidos no RS por instituições públicas e privadas (Tabela 1).

Todos os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com três ou quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por cinco fileiras de 5,0 m de

comprimento e espaçadas em 0,20 m, com área de 5,0 m². Durante o período foram avaliadas 122 cultivares em 137 ensaios de competição de cultivares.

O cálculo do progresso genético foi realizado para o estado do RS e para as duas regiões homogêneas de cultivo. A região 1 classificada como fria, úmida e alta foi formada com os seguintes locais: Capão do Leão, Caxias do Sul, Coxilha, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Hulha Negra, Júlio de Castilhos, Não me Toque, Palmeira das Missões, Passo Fundo, Pelotas, Sertão e Vacaria. Já a região 2 classificada como moderadamente quente, úmida e baixa foi constituída pelos seguintes locais: Augusto Pestana; Cachoeira do Sul, Eldorado do Sul, Giruá, Ijuí, Independência, Santo Augusto, São Borja, São Luiz Gonzaga e Três de Maio.

Os ensaios foram realizados com a finalidade de gerar informações para recomendação de cultivares com melhor desempenho em exposição a distintos ambientes de cultivo. As cultivares com desempenho não satisfatório, foram descartadas e substituídas por outras, supostamente, com maior potencial produtivo. As cultivares que apresentaram bom desempenho foram mantidas para avaliação no ano subsequente.

Para o estudo do progresso genético foi utilizada a metodologia proposta por Vencovsky et al. (1988). Essa metodologia tem por base a utilização dos dados gerados nos ensaios regionais de cultivares. Ela destina-se à obtenção de estimativas de ganhos genéticos, sendo o balanço do progresso genético realizado pelo método dos quadrados mínimos generalizados (Cruz, 2001).

Assim, inicialmente, foram estimadas as taxas de cultivares incluídas (I), excluídas (E) mantidas (M) e renovadas (R) nos ensaios, em %, pelas seguintes expressões:

$$\%I = \frac{100I}{M + E + I}$$

$$\%E = \frac{100E}{M + E + I}$$

$$\%M = \frac{100M}{M + E + I}$$

$$\%R = \frac{100I}{M + I}$$

Em que: I = Número de cultivares incluídas no ano subsequente; E = Número de cultivares excluídas no ano anterior; M = Número de cultivares mantidas de um ano para o outro; e R = renovação de cultivares (Cruz, 2001).

Após, foi estimado o ganho genético, em cada biênio, com o modelo de regressão linear, proposto por Vencovsky et al. (1988), que consiste em:

$$\hat{G}_g = (\bar{y}_2 - \bar{y}_1) - (\bar{y}_{c2} - \bar{y}_{c1})$$

Onde:

\hat{G}_g = Estimativa do ganho genético

\bar{y}_1 = Média geral das cultivares no ensaio do ano 1.

\bar{y}_2 = Média geral das cultivares no ensaio do ano 2.

\bar{y}_{c1} = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 1.

\bar{y}_{c2} = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 2.

Nessa metodologia a diferença bruta é obtida por $(\bar{y}_2 - \bar{y}_1)$ e a diferença ambiental por $(\bar{y}_{c2} - \bar{y}_{c1})$. Assim, a estimativa do ganho genético é obtida pela diferença bruta menos a diferença ambiental (Vencovsky et al., 1988).

Posteriormente, foi determinado o balanço do progresso genético pelo método dos quadrados mínimos generalizados, conforme descrição em Cruz (2001). Obteve-se a média de ganho genético do período ($\mu\hat{G}g$), em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a produtividade de grãos. Depois, calculou-se a porcentagem de progresso genético anual pela expressão $(\frac{\mu\hat{G}g}{\bar{y}_1} * 100)$.

Para as análises estatísticas foram utilizados os aplicativos Microsoft Excel e GENES (Cruz, 2013).

4.3 Resultados e discussão

Os ensaios de avaliação de cultivares de trigo, conduzidos durante o período de 12 anos no estado do Rio grande do Sul, apresentaram equilibrada distribuição entre os locais, com variação de números de ensaios por ano de nove (2006) a 13 (2009 e 2013), demonstrando que o banco de dados foi adequado, devido a apresentar boa distribuição de ensaios (Tabela 2). Os locais que mais contribuíram com a presença de ensaios durante o período de estudo (2002-2013) foram: São Borja e Vacaria (12 anos) Cruz Alta, Júlio de Castilhos e Passo Fundo (11 anos), Coxilha e Santo Augusto (10 anos). O mesmo balanceamento não foi observado para a cultura de arroz irrigado em ensaios conduzidos em Minas Gerais, sendo que a variação dos locais de ensaios por ano foi de 1 a 4 (Do Vale et al., 2012).

As médias das taxas de inclusão (20,9%), exclusão (21,8%) e renovação (27,0%) de cultivares, durante o período de 2002 a 2013, foram relativamente inferiores a taxa de manutenção (57,3%) (Tabela 3). A taxa de manutenção de cultivares foi semelhante, em comparação aos valores encontrados em estudos de progresso genético na cultura de trigo com 52% (Cargnin et al., 2008) e 58% com a cultura de arroz (Do Vale et al., 2012)

A média geral de produtividade de grãos, ou seja, considerando todos os locais e anos, foi de $3362,65 \text{ kg ha}^{-1}$. Entre as duas regiões homogêneas a diferença de produtividade de grãos foi de $105,12 \text{ kg ha}^{-1}$. A região 1 apresentou produtividade média de $3395,52 \text{ kg ha}^{-1}$ e a região 2 apresentou produtividade média relativamente inferior, ou seja, $3290,4 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 4). Essas produtividades foram, relativamente, superiores a média de 2430 kg ha^{-1} , obtida no estado do Rio Grande do Sul (RS), na safra de 2013 (Conab, 2013), o que evidencia o bom desempenho das cultivares nos ensaios.

As menores médias de produtividade de grãos foram observadas no ano de 2002, correspondendo a $2288,83 \text{ kg ha}^{-1}$ para a região 1, $1922,96 \text{ kg ha}^{-1}$ para a região 2 e $2142,48 \text{ kg ha}^{-1}$ para o RS (Tabela 4). Por outro lado, as maiores médias de produtividade de grãos foram observadas no ano de 2013, correspondendo a $4956,77 \text{ kg ha}^{-1}$ para a região 1, $4653,43 \text{ kg ha}^{-1}$ para a região 2 e $4843,38 \text{ kg ha}^{-1}$ para o RS. O aumento de produtividade de grãos não foi constante no período, ou seja, oscilaram entre os anos agrícolas, como no ano de 2011 em relação ao ano de 2012, onde as reduções de produtividade de grãos foram de $1382,08 \text{ kg ha}^{-1}$ para a região 1, $568,68 \text{ kg ha}^{-1}$ para a região 2 e $1126,11 \text{ kg ha}^{-1}$ para o RS. Essas oscilações demonstram a influência do ambiente na produtividade de grãos na cultura de trigo. Esse fato justifica-se pela produtividade de grãos ser uma variável quantitativa, controlada por grande número de genes, tornando a variável muito influenciada pelo ambiente (Cruz, 2005), onde o ambiente controla a expressão gênica (Taiz and Zeiger, 2013).

O progresso genético para a produtividade de grãos, de cultivares de trigo, durante o período de 2002 a 2013, foi de $61,36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (2,86%) para o estado do Rio Grande do Sul. Para a região 1 foi de $41,54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (1,82%) e para a região 2 foi de $84,13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (4,38%) (Tabela 5). O progresso genético para o estado do Rio Grande do Sul, foi superior aos obtidos em estudos desenvolvidos no Sul do Brasil, com progresso de $17,3 \text{ kg ha}^{-1}$

¹ ano⁻¹ (Nedel, 1994), 44,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Rodrigues et al., 2007) e 29 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Beche et al., 2014). Também superior ao encontrado na Turquia de 58 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Gummadov et al., 2015). Por outro lado, foi inferior aos obtidos em estudos desenvolvidos na Romênia com 69 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Marinciu et al., 2013), e na China com 66 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Wu et al., 2014). Esses valores são superiores aos encontrados no presente estudo, mas deve ser ressaltado que o banco de germoplasma e as características da cultura, provavelmente, expliquem parte dessas diferenças.

Os ensaios de cultivares de trigo, estratificados em regiões homogêneas de cultivo, apresentaram resultados satisfatórios, visto que o progresso genético no período de 2002 a 2013 para o RS foi 2,4 vezes superior na região 2 em relação a região 1. Assim, pode-se sugerir que os programas de melhoramento genético para a cultura devem aprimorar técnicas de melhoramento e seleção para a região 1. Esse fato justifica o estudo do progresso genético em regiões homogêneas de cultivo, para a cultura de trigo no RS. Na cultura de trigo, estudos de progresso genético indicaram resultados diferenciados entre regiões de cultivo (Wu et al., 2014). Os autores obtiveram variação de progresso de 20 a 103 kg ha⁻¹ ano⁻¹, estando essa diferença associada aos investimentos de pesquisa diferenciados por regiões de cultivo de trigo na China.

A estratificação do estudo do progresso genético, em regiões homogêneas de condução de ensaios, é uma maneira promissora para melhor caracterização dos programas de melhoramento. Essa estratificação possibilita o lançamento de cultivares específicas para regiões homogêneas de cultivo. Portanto, sugere-se que no estado do Rio Grande do Sul, os maiores esforços das empresas de melhoramento no lançamento de cultivares com alto potencial produtivo, adaptadas a regiões de cultivo, deve se concentrar na região 1.

4.4 Conclusão

O progresso genético anual para a produtividade de grãos de trigo, no período de 12 anos, no estado do Rio Grande do Sul foi de 2,86%, oscilando entre as regiões homogêneas de cultivo. A diferença de progresso genético anual da região 1 (1,82%) em relação a região 2 (4,38%) justifica o estudo do progresso genético, por regiões homogêneas de cultivo.

4.5 Agradecimentos

Aos pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) e de outras instituições de pesquisa pela realização desses ensaios. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a bolsa de produtividade em pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), para a concessão de bolsas de estudo.

Conflicts of interest

Os autores declaram não haver conflito de interesses

3.6 Referências

- Barbosa Neto JF, Matiello RR, Carvalho FIF, Oliveira JMS, et al. (2000). Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no sul do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 35:1605-1612. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800013>
- Beche E, Benin G, Silva CL, Munaro LB, et al. (2014). Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in brazilian wheat during the 20th century. *Europ. J. Agronomy.* 61:49-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2014.08.005>
- Borges V, Soares AA, Resende MDV, Reis MS, et al. (2009). Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de minas gerais utilizando modelos mistos. *Rev. Bras. Biom.* 27:478-490.
- Breseghele F, Rangel PHN, Moraes, OP (1999). Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 34:399-407.
- Breseghele F, Moraes OP, Pinheiro PV, Silva ACS, et al. (2011). Results of 25 years of upland rice breeding in brazil. *Crop Sci.* 51:914-923. [doi: 10.2135/cropsci2010.06.0325](https://doi.org/10.2135/cropsci2010.06.0325)
- Cargnin A, Souza MA, Fronza V (2008) Progress in breeding of irrigated wheat for the cerrado region of Brazil. *Crop breed. and appl. Biot.* 8:39-46.
- Cruz CD (2013). Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci. Agron.* 35:271-276. [doi:10.4025/actasciagron.v35i3.21251](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251)
- Conab (2013) Acompanhamento da safra brasileira. Available at [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_16_05_53_boletim_portugues_setembro_2013.pdf]. Accessed August 30, 2016.
- Cruz CD (2001). Programa genes: versão windows, aplicativo computacional em genética e estatística. 1rd edn. Editora UFV, Viçosa.
- Cruz CD (2005). Princípios da genética quantitativa. 1rd edn. Editora UFV, Viçosa.
- DoVale JC, Soares PC, Cornélio VMO, Reis MS, et al. (2012). Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em minas gerais no período de 1998 a 2010. *Bragant.* 71:460-466. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052012000400002>
- Faria AP, Fonseca Júnior NS, Destro D, Faria RT (2007). Ganho genético na cultura da soja. *Semina: Ci. Agrárias.* 28:71-78. [doi: http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p71](http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p71)
- Federizzi LC, Scheeren PL, Barbosa Neto JF, Milach SCK, et al. (2005). Melhoramento do trigo. In: Borém, A. Melhoramento de espécies cultivadas. 2rd edn. Editora UFV, Viçosa.
- Gummadov N, Keser M, Akin B, Cakmak M, et al. (2015) Genetic gains in wheat in Turkey: Winter wheat for irrigated conditions. *The Cr. Journ.*3:507-516. [doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.cj.2015.07.007](http://dx.doi.org/10.1016/j.cj.2015.07.007)
- Nedel JL (1994). Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. *Pesq. Agropec. Bras.* 29:1565-1570.
- Marinciu C, Mustatea P, Serban G, Ittu G, et al. (2013) Effects of climate change and genetic progress on performance of wheat cultivars, during the last twenty years in south Romania. *Roman. Agric. Res.* 30:3-11.
- Oury F, Godin C, Mailliard A, Chassin A, et al. (2012). A study of genetic progress due to selection reveals a negative effect of climate change on bread wheat yield in France. *Europ. J. Agronomy.* 40:28-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.02.007>
- Redaelli R, Laganà P, Rizza F, Nicosia OLD, et al. (2008). Genetic progress of oats in Italy. *Euphyt.* 164:679-687. [doi: 10.1007/s10681-008-9680-y](https://doi.org/10.1007/s10681-008-9680-y)

- Rodrigues O, Lhamby JCB, Didonet AD, Marchese JA (2007). Fifty years of wheat breeding in southern Brazil: yield improvement and associated changes. *Pesq. Agropec. Bras.* 42:817-825. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600008>
- Souza CNA and Caierão E (2014). Cultivares de trigo indicadas para cultivo no Brasil e instituições criadoras – 1922 a 2004. 1st edn. Editora Embrapa, Brasília.
- Taiz L and Zeiger E (2013). Fisiologia vegetal. 5th edn. Editora Artmed, Porto Alegre.
- Thomas JB and Graf RJ (2014). Rates of yield gain of hard red spring wheat in western Canada. *Can. J. Plant Sci.* 94:1-13. doi:10.4141/CJPS2013-160
- Vencovsky R, Morais AR, Garcia JC, Teixeira NM (1988). Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: Congresso nacional de milho e sorgo, 16: 300-307.
- Wu W, Li C, Ma B, Shah F, et al. (2014). Genetic progress in wheat yield and associated traits in China since 1945 and future prospects. *Euphyt.* 196:155-168. doi: 10.1007/s10681-013-1033-9.

Tabela 1 - Relação de documentos publicados, anualmente, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), com os resultados dos ensaios estaduais de cultivares de trigo (EECT), avaliados no período de 2002 a 2013, em locais do estado do Rio Grande do Sul, utilizados nesse estudo.

Ano	Documento	Autores	Páginas inicial e final	Número de ensaios
2002 a 2006	Documentos 72 - Ensaio estadual de cultivares de trigo - Resultados 2002 a 2006. 278p.	Castro RL and Caierão E (2007)	27 a 30; 80 a 83; 140 a 143; 205 a 208; 247 a 250	55
2007	Documentos 81 - Ensaio estadual de cultivares de trigo do Rio Grande do Sul, 2007. 62p.	Castro RL and Caierão E (2008)	22-25	10
2008	Documentos 88 - Ensaio estadual de cultivares de trigo do Rio Grande do Sul, 2008. 116p.	Castro RL and Caierão E (2009)	24-35; 38-41; 44-57	14
2009	Documentos 94 - Ensaio estadual de cultivares de trigo do Rio Grande do Sul, 2009. 114p.	Castro RL, Caierão E, Pires JLF, Pasinato A (2010)	27-44; 45-51	13
2010	Documentos 103 - Ensaio estadual de cultivares de trigo do Rio Grande do Sul, 2010. 105p.	Castro RL, Caierão E, Pires JLF, Pasinato A (2011)	23-32; 35-46	11
2011	Documentos 110 - Ensaio estadual de cultivares de trigo do Rio Grande do Sul, 2011. 144p.	Castro RL, Caierão E, Pires JLF, Zuchi J, Aires RF (2012)	38-62	11
2012	FEPAGRO - Boletim 23. Ensaio estadual de cultivares de trigo - 2012. 56p.	Aires RF, Zuchi J, Castro RL, Caierão E (2013)	25-36	10
2013	FEPAGRO - Resultados do Ensaio Estadual dos cultivares de trigo 2013. 28p.	Zuchi J and Aires RF (2014)	8-23	13

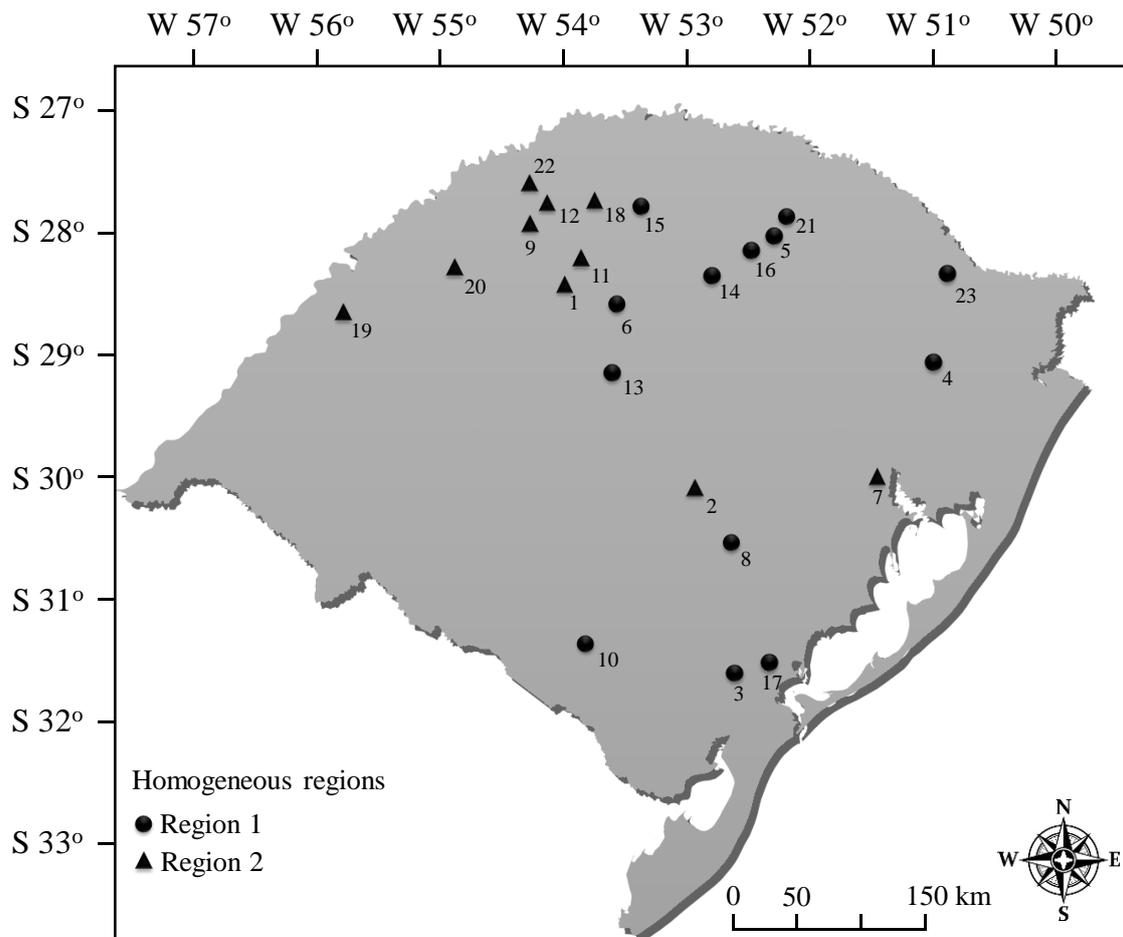


Figura 1 - Representação geográfica dos 23 locais de condução dos ensaios estaduais de cultivares de trigo no Rio Grande do Sul, durante o período de 2002 a 2013. 1 = Augusto Pestana; 2 = Cachoeira do Sul; 3 = Capão do Leão; 4 = Caxias do Sul; 5 = Coxilha; 6 = Cruz Alta; 7 = Eldorado do Sul; 8 = Encruzilhada do Sul; 9 = Giruá; 10 = Hulha Negra; 11 = Ijuí; 12 = Independência; 13 = Júlio de Castilhos; 14 = Não-me-Toque; 15 = Palmeira das Missões; 16 = Passo Fundo; 17 = Pelotas; 18 = Santo Augusto; 19 = São Borja; 20 = São Luiz Gonzaga; 21 = Sertão; 22 = Três de Maio e 23 = Vacaria.

Tabela 2 - Número de ensaios em cada local e ano e totais de ensaios por local e por ano, conduzidos na rede de ensaios estaduais de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), no período de 2002 a 2013, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Locais	Anos												Total
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Augusto Pestana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	3
Cachoeira do Sul	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2
Capão do Leão	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Caxias do Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Coxilha	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	-	1	10
Cruz Alta	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	11
Eldorado do Sul	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	1	8
Encruzilhada do Sul	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	4
Giruá	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Hulha Negra	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2
Ijuí	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	-	-	4
Independência	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
Júlio de Castilhos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	11
Não me Toque	-	-	-	1	-	1	-	1	1	1	1	1	7
Palmeira das Missões	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Passo Fundo	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	11
Pelotas	1	-	1	1	1	-	1	1	-	-	-	-	6
Santo Augusto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	1	10
São Borja	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
São Luiz Gonzaga	1	1	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	9
Sertão	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	5
Três de Maio	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	2
Vacaria	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Total	11	11	12	12	9	10	14	13	11	11	10	13	

- ausência de ensaio

Tabela 3 - Taxas de Inclusão, exclusão, manutenção e renovação de cultivares avaliadas nos ensaios estaduais de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), no período de 2002 a 2013, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Biênios	Inclusão (%)	Exclusão (%)	Manutenção (%)	Renovação (%)
2003 - 2002	26,1	17,4	56,5	31,6
2004 - 2003	20,8	27,1	52,1	28,6
2005 - 2004	18,6	14,0	67,4	21,6
2006 - 2005	11,9	21,4	66,7	15,2
2007 - 2006	25,0	20,5	54,5	31,4
2008 - 2007	23,9	23,9	52,2	31,4
2009 - 2008	20,5	20,5	59,1	25,7
2010 - 2009	16,7	28,6	54,8	23,3
2011 - 2010	31,8	31,8	36,4	46,7
2012 - 2011	18,9	13,5	67,6	21,9
2013 - 2012	15,8	21,1	63,2	20,0
Média de 12 anos	20,9	21,8	57,3	27,0

Tabela 4 - Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} , de cultivares avaliadas nos ensaios estaduais de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), no período de 2002 a 2013, em regiões homogêneas e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Ano	Média da região 1 ⁽¹⁾	Média da região 2 ⁽²⁾	Média do RS ⁽³⁾
2002	2288,83	1922,96	2142,48
2003	3933,52	3031,96	3512,25
2004	3336,05	3097,85	3246,73
2005	2908,09	3011,05	2946,70
2006	2436,93	3578,73	3059,73
2007	2618,19	2330,03	2515,28
2008	2889,81	3003,15	2927,59
2009	3041,22	3777,60	3225,31
2010	4184,87	3295,52	3888,42
2011	4767,01	4175,59	4585,03
2012	3384,93	3606,91	3458,92
2013	4956,77	4653,43	4843,38
Média do período	3395,52	3290,40	3362,65

⁽¹⁾ A região 1 foi formada com os seguintes locais: Capão do Leão, Caxias do Sul, Coxilha, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Hulha Negra, Júlio de Castilhos, Não me Toque, Palmeira das Missões, Passo Fundo, Pelotas, Sertão e Vacaria. ⁽²⁾ A região 2 foi formada com os seguintes locais: Augusto Pestana; Cachoeira do Sul, Eldorado do Sul, Giruá, Ijuí, Independência, Santo Augusto, São Borja, São Luiz Gonzaga e Três de Maio. ⁽³⁾ Inclui todos os locais das regiões 1 e 2.

Tabela 5 - Progresso genético anual e percentagem de progresso genético anual para a produtividade de grãos, de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), calculados por regiões homogêneas de cultivo e no geral do estado do Rio Grande do Sul (RS), durante o período de 2002 a 2013.

Biênios	Região 1 ⁽¹⁾	Região 2 ⁽²⁾	RS ⁽³⁾
2003 - 2002	96,82	65,98	81,84
2004 - 2003	163,20	48,28	111,29
2005 - 2004	136,79	83,63	116,86
2006 - 2005	48,51	34,34	40,30
2007 - 2006	-76,07	112,12	4,82
2008 - 2007	87,87	111,67	95,42
2009 - 2008	59,80	55,55	56,54
2010 - 2009	-20,95	73,41	5,49
2011 - 2010	-7,87	108,90	27,98
2012 - 2011	51,25	33,10	45,33
2013 - 2012	41,72	100,63	62,44
Balanco do progresso genético anual			
Ganho genético em kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	41,54	84,13	61,36
Ganho genético em % ano ⁻¹	1,82	4,38	2,86

⁽¹⁾ A região 1 foi formada com os seguintes locais: Capão do Leão, Caxias do Sul, Coxilha, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Hulha Negra, Júlio de Castilhos, Não me Toque, Palmeira das Missões, Passo Fundo, Pelotas, Sertão e Vacaria. ⁽²⁾ A região 2 foi formada com os seguintes locais: Augusto Pestana; Cachoeira do Sul, Eldorado do Sul, Giruá, Ijuí, Independência, Santo Augusto, São Borja, São Luiz Gonzaga e Três de Maio. ⁽³⁾ Inclui todos os locais das regiões 1 e 2.

5 ARTIGO III: PROGRESSO GENÉTICO DA CULTURA DE GIRASSOL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

D.N. Follmann¹, A. Cargnelutti Filho¹, L.H. Lorentz², A.A. Boligon², M. Caraffa³ and C.A. Wartha⁴

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Avenida Roraima, nº 1,000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

² Universidade Federal do Pampa, Avenida Antônio Trilha, 1847, Centro, CEP 97300-000, São Gabriel, RS, Brasil.

³ Sociedade Educacional Três de Maio - SETREM, Departamento de Agronomia, Avenida Santa Rosa, 2405, Centro, CEP 98910-000, Três de Maio, RS, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia. CEP 36570-900 Viçosa, MG, Brasil.

Autor correspondente: Alberto Cargnelutti Filho (55) 3220 8179

E-mail: diegonicolaufollmann@gmail.com, alberto.cargnelutti.filho@gmail.com, leandrolorentz@unipampa.edu.br, alexandraboligon@unipampa.edu.br, garrafa@setrem.com.br, cleiton.ufsm@gmail.com

RESUMO - A cultura de girassol apresenta capacidade de adaptação a regiões de cultivo com distintas características edafoclimáticas, apresentando tolerância a seca e produção de óleo de elevada qualidade. O estado do Rio Grande do Sul (RS) é o terceiro maior produtor de girassol do Brasil, com pesquisas relacionadas ao melhoramento de girassol iniciadas após a década de 50. O objetivo deste trabalho foi avaliar o progresso genético para produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo para a cultura de girassol (*Helianthus annuus* L.), no estado do Rio Grande do Sul. Foram utilizados os dados de produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo, obtidos em 58 ensaios de competição de cultivares de girassol em dezenove municípios do RS, no período de 2005-2014. Foi estudado o progresso genético conforme metodologia proposta por Vencovsky e usados os dados de ensaios de competição de cultivares de girassol. O progresso genético anual de girassol, no período de 10 anos (2005-2014), para a produtividade de grãos foi de $132,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para teor de óleo foi de $-0,17\% \text{ ano}^{-1}$ e para produtividade de óleo foi de $48,11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os programas de melhoramento genético da cultura de girassol no estado do Rio Grande do Sul foram eficientes para as variáveis produtividades de grãos e produtividade de óleo e não apresentaram eficiência para o teor de óleo.

Keywords: *Helianthus annuus* L.; melhoramento genético; produtividade de grãos; teor de óleo; produtividade de óleo.

5.1 Introdução

A cultura de girassol é uma oleaginosa de grande importância mundial, produzindo óleo de excelente qualidade. O melhoramento genético da cultura no Brasil tem registro inicial em 1932 no estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul a partir da década de 50. Dentre as características em destaque, apresenta ampla adaptação e tolerância à seca, com boas perspectiva de expansão no Brasil, despertando interesse de empresas públicas e privadas, no desenvolvimento de programas de melhoramento genético com a cultura (Castiglioni and Oliveira, 2005).

O cultivo de girassol no Brasil concentra-se em maioria no centro sul brasileiro, com a produção brasileira na safra 2012/2013 de 108,1 mil toneladas e área de cultivo de 68,7 mil hectares. O estado do Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor brasileiro, com produção de 4 mil toneladas, com área de cultivo de 2,7 mil hectares (Conab, 2013).

O principal produto comercializado do girassol é seu óleo, destinado a alimentação humana e uso como biocombustível. Estudos e seleções, para aumentar o teor de óleo nos aquênios de girassol foram inicialmente desenvolvidos na Rússia, onde Pustovoit desenvolveu um método eficiente para a seleção de genótipos em programas de melhoramento, possibilitando a seleção de genótipos com teor de óleo superior a 50%, ficando o método mundialmente conhecido como o método das reservas (Castiglioni and Oliveira, 2005).

Estudos atuais, que avaliam o desempenho das cultivares de girassol, priorizam além de produtividade de grãos, produtividade de óleo (Porto et al., 2008; Thomaz et al., 2012, Schwerz et al., 2015; Dalchiavon et al., 2016), também teor de óleo (Schwerz et al., 2015; Dalchiavon et al., 2016), demonstrando o interesse por genótipos com elevada produtividade de grãos e óleo, associado a um elevado teor de óleo que proporciona melhor rendimento industrial para sua extração.

A eficiência dos programas de melhoramento genético vegetal, na disponibilização de genótipos com maior potencial produtivo, pode ser avaliada pelo estudo do progresso genético (Borges et al., 2009). Dentre as possibilidades de avaliação do progresso genético, o método desenvolvido por Vencovsky et al. (1988) apresenta como vantagens a utilização de ensaios já conduzidos por redes de ensaios de cultivares, além da mensuração de genótipos em condições o mais próximo possível da realidade de cultivo dos agricultores, devido a realização de ensaios em amplo número de locais. Outra vantagem que pode ser atribuída a essa metodologia é a redução de custos para a realização do estudo (Faria et al., 2007), devido a não ser necessário a instalação de um experimento específico para sua realização (Toledo et al., 1990).

Estudos com relação à eficiência de programa de melhoramento com a cultura de girassol podem ser encontrados na Argentina, indicando progresso genético para produtividade de grãos (Pereira et al., 1999), produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo (De Lavega et al., 2007) e produtividade de óleo (De Lavega, 2012), e também na África do Sul para produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo (Chigeza et al., 2012). Supõe-se que para o estado do Rio Grande do Sul, durante o período de 2005 a 2014, houve progresso genético para produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo de girassol.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o progresso genético para produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo para a cultura de girassol (*Helianthus annuus* L.), no estado do Rio Grande do Sul.

5.2 Material e métodos

Foram utilizados os dados de produtividade de grãos (PG, em kg ha⁻¹), teor de óleo (TO, em %), e produtividade de óleo (PO, em kg ha⁻¹) de 58 ensaios pertencentes à rede de ensaios de avaliação de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.). Os ensaios foram conduzidos em 19 municípios do RS, no período de 2005 a 2014 (Figura 1). Os dados foram obtidos nos Informes da avaliação de genótipos de girassol, publicados anualmente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Tabela 1).

Todos os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 0,8 m e 6,0 m de comprimento. A área das parcelas foi de 19,2 m² com área útil de 8,0 m².

O cálculo do progresso genético para o estado do Rio Grande do Sul foi realizado com os resultados obtidos em ensaios de cultivares conduzidos nos municípios de Caxias do Sul, Coxilha, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Hulha Negra, Ijuí, Palmeira das Missões, Passo Fundo, Pelotas, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, Santa Maria, Santa Rosa, São Borja, São Gabriel, Três de Maio, Uruguaiana, Vacaria, Veranópolis (Tabela 2).

Os ensaios têm por finalidade gerar informações para a recomendação de cultivares com melhor desempenho em exposição a distintos ambientes de cultivo. As cultivares com desempenho não satisfatório são descartadas e substituídas por outras, supostamente, com maior potencial produtivo. As cultivares que apresentam bom desempenho são mantidas para avaliação no ano subsequente.

Para o estudo do progresso genético foi utilizada a metodologia proposta por Vencovsky et al. (1988). Essa metodologia tem por base os dados gerados nos ensaios regionais de cultivares. Ela destina-se à obtenção de estimativas de ganhos genéticos, sendo o balanço do progresso genético realizado pelo método dos quadrados mínimos generalizados (Cruz, 2001).

Assim, inicialmente foram estimadas as taxas de cultivares incluídas (I), excluídas (E) mantidas (M) e renovadas (R) nos ensaios, em %, pelas seguintes expressões:

$$\%I = \frac{100I}{M + E + I}$$

$$\%E = \frac{100E}{M + E + I}$$

$$\%M = \frac{100M}{M + E + I}$$

$$\%R = \frac{100I}{M + I}$$

Em que: I = Número de cultivares incluídas no ano subsequente; E = Número de cultivares excluídas no ano anterior; M = Número de cultivares mantidas de um ano para o outro; e R = renovação de cultivares (Cruz, 2001).

Após, foi estimado o ganho genético, em cada biênio, com o modelo da regressão linear, proposto por Vencovsky et al. (1988), que consiste em:

$$\hat{G}g = (\bar{y}2 - \bar{y}1) - (\bar{y}c2 - \bar{y}c1)$$

Onde:

$\hat{G}g$ = Estimativa do ganho genético

$\bar{y}1$ = Média geral das cultivares no ensaio do ano 1.

$\bar{y}2$ = Média geral das cultivares no ensaio do ano 2.

$\bar{y}c1$ = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 1.

$\bar{y}c2$ = Média das cultivares comuns no ensaio do ano 2.

Nessa metodologia a diferença bruta é obtida por $(\bar{y}2 - \bar{y}1)$ e a diferença ambiental por $(\bar{y}c2 - \bar{y}c1)$. Assim, a estimativa do ganho genético é obtida pela diferença bruta menos a diferença ambiental (Vencovsky et al., 1988).

Posteriormente, foi determinado o balanço do progresso genético pelo método dos quadrados mínimos generalizados, conforme descrição em Cruz (2001). Obteve-se a média de ganho genético do período ($\mu\hat{G}g$), em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para PG e PO, e em $\% \text{ ano}^{-1}$ para teor de óleo. Depois, calculou-se a percentagem de progresso genético anual pela expressão $(\frac{\mu\hat{G}g}{\bar{y}1} * 100)$.

Para as análises estatísticas foram utilizados os aplicativos Microsoft Excel e GENES (Cruz, 2013).

5.3 Resultados e discussão

Nos 58 ensaios de avaliação de cultivares de girassol, realizados durante o período de dez anos (2005-2014) no Estado do Rio Grande do Sul, foram avaliados 173 genótipos (Tabela 2). O ano com maior número de genótipos avaliados foi o ano de 2007 com 42 genótipos e o ano de 2014 foi o ano com menor número apresentando 17 genótipos.

As médias das taxas de inclusão (33,44%), exclusão (37,33%) e manutenção (29,23%) de cultivares, durante o período de 2005 a 2014, foram relativamente inferiores a taxa de renovação (52,79%) (Tabela 3). A taxa de renovação de cultivares foi elevada, em comparação aos valores encontrados em estudos de progresso genético com a cultura de trigo com 33% (Cargnin et al., 2008) e 29% com a cultura de arroz (Do Vale et al., 2012), demonstrando que o programa de melhoramento de girassol é dinâmico, com constantes investimentos em pesquisa para o lançamento de novas cultivares.

A média geral para PG, considerando todos os locais e anos, foi de 2075,57 kg ha^{-1} , 43,24% para TO e 897,71 kg ha^{-1} para PO (Tabela 4). O ano com a menor média de PG foi o ano de 2005 com 1543,65 kg ha^{-1} , já o ano de 2010 foi o ano com maior PG com 2775,86 kg ha^{-1} . Esses valores demonstram aumento de produtividade da cultura no estado do Rio Grande do Sul, possivelmente pelo lançamento de novas cultivares e melhorias relacionadas ao manejo da cultura. Em escala mundial, a expansão e estabelecimento da cultura de girassol, ocorreram com a introdução de novas cultivares, onde as mesmas contribuíram com o aumento de 60% da produtividade de grãos (Castiglioni and Oliveira, 2005).

O progresso genético de cultivares de girassol, no estado do Rio Grande do Sul, durante o período de 2005 a 2014, foi de 132,46 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (8,58% ao ano) para PG, -0,17% ano^{-1} (-0,38%) para TO e 48,11 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (7,13%) para PO (Tabela 5). Assim, pode-se inferir que os programas de melhoramento genético foram eficientes, lançando cultivares mais produtivas para as variáveis PG e PO, porém, não foram para a variável TO.

Estudos relativos ao progresso genético para PG com a cultura de girassol foram relatados na Argentina, com progresso de 49 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Pereira et al., 1999), 11,9 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (De Lavega et al., 2007) e na África do Sul de 24 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Chigeza et al., 2012). Progresso genético para TO de 0,19% ano^{-1} (De Lavega et al., 2007) e 0,12% ano^{-1} (Chigeza et al., 2012). Progresso genético para PO de 16,1 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (De Lavega et al., 2007), 12 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Chigeza et al., 2012) e de 6,22 a 10,54 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ por regiões de cultivos (De Lavega et al., 2012).

O progresso genético da cultura de girassol, para o estado do Rio Grande do Sul foi maior para PG que os estudos encontrados na literatura (Pereira et al., 1999; De Lavega et al., 2007; Chigeza et al., 2012), também foi maior para PO que os demais estudos (De Lavega et

al., 2007; Chigeza et al., 2012; De Lavega et al., 2012). No entanto, para TO o progresso genético ficou abaixo dos encontrados em outros países (De Lavega et al., 2007; Chigeza et al., 2012). Uma justificativa pode ser o elevado TO presente nos genótipos brasileiros (médias de 43,24% nos ensaios conduzidos de 2005 a 2014 no RS), dificultando seleções para lançamento de cultivares com níveis superiores de óleo.

A PO é a variável de maior interesse econômico no cultivo de girassol e o aumento da mesma está sendo alcançado na cultura do girassol com o aumento da PG. Com relação a PG em outras culturas agrícolas, estudos recentes indicam progresso genético para a cultura de trigo no Brasil de 0,92% ano⁻¹ (Beche et al., 2014), na China de 1% ano⁻¹ (Wu et al., 2014), para a cultura de arroz, no Brasil de 0,67% ano⁻¹ (Bresghello et al., 2011) e na cultura de soja de 1,1% ano⁻¹ na Argentina (Felipe et al., 2016).

O progresso genético para o girassol foi maior em relação a essas culturas, o qual pode ser justificado pela cultura do girassol apresentar sistema reprodutivo de alógama, possibilitando elevadas trocas de informações genéticas com fontes de germoplasma distintos durante a fase inicial de melhoramento, ampliando sua base genética. Para posterior formação de cultivares de população aberta ou base genética para a formação de linhagens, que são beneficiadas pelo vigor híbrido resultante da heterose presente em cultivares híbridas de girassol.

5.4 Conclusão

O progresso genético anual de girassol, no período de 10 anos (2005-2014), para a produtividade de grãos foi de 132,46 kg ha⁻¹ ano⁻¹, para teor de óleo foi de -0,17% ano⁻¹ e para produtividade de óleo foi de 48,11 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os programas de melhoramento genético da cultura de girassol no estado do Rio Grande do Sul foram eficientes para as variáveis produtividade de grãos e produtividade de óleo e não apresentaram eficiência para o teor de óleo.

5.5 Agradecimentos

Aos pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e de outras instituições de pesquisa pela realização desses ensaios. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a bolsa de produtividade em pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), para a concessão de bolsas de estudo.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses

5.6 Referências

Beche E, Benin G, Silva CL, Munaro LB, et al. (2014). Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in brazilian wheat during the 20th century. *Europ. J. Agronomy*. 61:49-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2014.08.005>

Borges V, Soares AA, Resende MDV, Reis MS, et al. (2009). Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de minas gerais utilizando modelos mistos. *Rev. Bras. Biom.* 27:478-490.

Bresghello F, Morais OP, Pinheiro PV, Silva ACS, et al. (2011). Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. *Crop Sci.* 51:914-923. doi: 10.2135/cropsci2010.06.0325

Cargnin A, Souza MA, Fronza V (2008). Progress in breeding of irrigated wheat for the cerrado region of Brazil. *Crop breed. and appl. Biot.* 8:39-46.

Castiglioni VBR and Oliveira MF (2005). Melhoramento do Girassol. In: Borém, A. Melhoramento de espécies cultivadas. 2nd edn. Editora UFV, Viçosa.

Chigeza G, Mashingaidze K, Shanahan P (2012). Seed yield and associated trait improvements in sunflower cultivars over four decades of breeding in South Africa. *Field Crop. Res.* 130:46-56.

Conab (2013). Acompanhamento da safra brasileira. Available at [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_16_05_53_boletim_portugues_setembro_2013.pdf]. Accessed August 30, 2016.

Cruz CD (2001). Programa genes: versão windows, aplicativo computacional em genética e estatística. 1rd edn. Editora UFV, Viçosa.

Cruz CD (2013). Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci. Agron.* 35:271-276. doi:10.4025/actasciagron.v35i3.21251

Dalchiavon FC, Malacarne BJ, and Carvalho CGP (2016). Características agronômicas de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) em segunda safra no Chapadão do Parecis – MT. *Rev. de Ciênc. Agrár.* 39:178-186.

De laVega AJ, DeLacy IH and Chapman SC (2007). Changes in agronomic traits of sunflower hybrids over 20 years of breeding in central Argentina. *Field Crop. Res.* 100:73-81.

De laVega AJ (2012). Effect of the complexity of sunflower growing regions on the genetic progress achieved by breeding programs. *Helia.* 35:113-122.

DoVale JC, Soares PC, Cornélio VMO, Reis MS, et al. (2012). Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em minas gerais no período de 1998 a 2010. *Bragant.* 71:460-466. http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052012000400002

Faria AP, Fonseca Júnior NS, Destro D, Faria RT (2007). Ganho genético na cultura da soja. *Semina: Ci. Agrárias.* 28:71-78. doi: http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p71

Felipe M, Gerde JA and Rotundo JL (2016). Soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. *Crop Sci.* 56:1-12.

Pereira ML, Sadras VO, Trápani N (1999) Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995. I. Yield and its components. *Field Crop. Res.* 62:157-166

Porto WS, Carvalho CGP, Pinto RJB, Oliveira MF, Oliveira ACB (2008). Evaluation of sunflower cultivars for central Brazil. *Sci. Agric.* 65:139-144.

Schwerz T, Jakelaitis A, Teixeira MB, Soares FAL and Tavares CJ (2015). Produção de girassol cultivado após soja, milho e capim-marandu, com e sem irrigação suplementar. *Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Ambient.* 19:470-475.

Thomaz GL, Zagonel J, Colasante LO and Nogueira RR (2012) Produção do girassol e teor de óleo nos aquênios em função da temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar. *Ciênc. Rur.* 42:1380-1385.

Toledo JFF, Almeida LA, Kiihl RAS, Menosso OG (1990). Ganho genético em soja no estado do Paraná, via melhoramento. *Pesq. Agropec. Bras.* 25:89-94.

Vencovsky R, Morais AR, Garcia JC, Teixeira NM (1988). Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: Congresso nacional de milho e sorgo, 16: 300-307.

Wu W, Li C, Ma B, Shah F, et al. (2014). Genetic progress in wheat yield and associated traits in China since 1945 and future prospects. *Euphyt.* 196:155-168. doi: 10.1007/s10681-013-1033-9.

Tabela 1 - Relação de documentos publicados, anualmente, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com instituições públicas e privadas, referente à rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Ano	Documento	Autores	Páginas inicial e final	Número de ensaios
2005/2006 e 2006	Documentos 285 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2007. 120p.	Carvalho CGP et al. (2007)	20-21; 22-23; 24-25; 35-36; 37-38; 39-40.	6
2006/2007 e 2007	Documentos 295 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2008. 108p.	Carvalho CGP et al. (2008)	21-22; 23-24; 25-26; 27-28; 36-37; 38-39; 40-41; 42-43; 44-45; 46-47; 48-49.	11
2007/2008 e 2008	Documentos 316 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2009. 106p.	Carvalho CGP et al. (2009)	19-20; 20-21; 33-34; 35-36.	4
2008/2009 e 2009	Documentos 320 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2009. 122p.	Carvalho CGP et al. (2009)	22-23; 24-25; 26-27; 47-48; 49-50; 51-52; 53-54; 56-58.	8
2009/2010 e 2010	Documentos 326 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2011. 108p.	Carvalho CGP et al. (2011)	21-22; 23-24; 25-26; 27-28; 42-43; 44-45; 46-47; 48-49.	8
2010/2011 e 2011	Documentos 329 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2011. 98p.	Carvalho CGP et al. (2011)	21-22; 23-24; 35-36; 37-38; 39-40	5
2011/2012 e 2012	Documentos 340 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2013. 104p.	Carvalho CGP et al. (2013)	22-23; 24-25; 26-27; 28-29; 39-40; 41-42; 43-44; 45-46	8
2012/2013 e 2013	Documentos 355 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2014. 105p.	Carvalho CGP et al. (2014)	22-23; 39-40; 41-42; 43-44	4
2013/2014 e 2014	Documentos 360 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2015. 104p.	Carvalho CGP et al. (2015)	24-25; 42-43	2
2014/2015 e 2015	Documentos 367 – Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2016. 106p.	Carvalho CGP et al. (2015)	24-25; 38-39	2

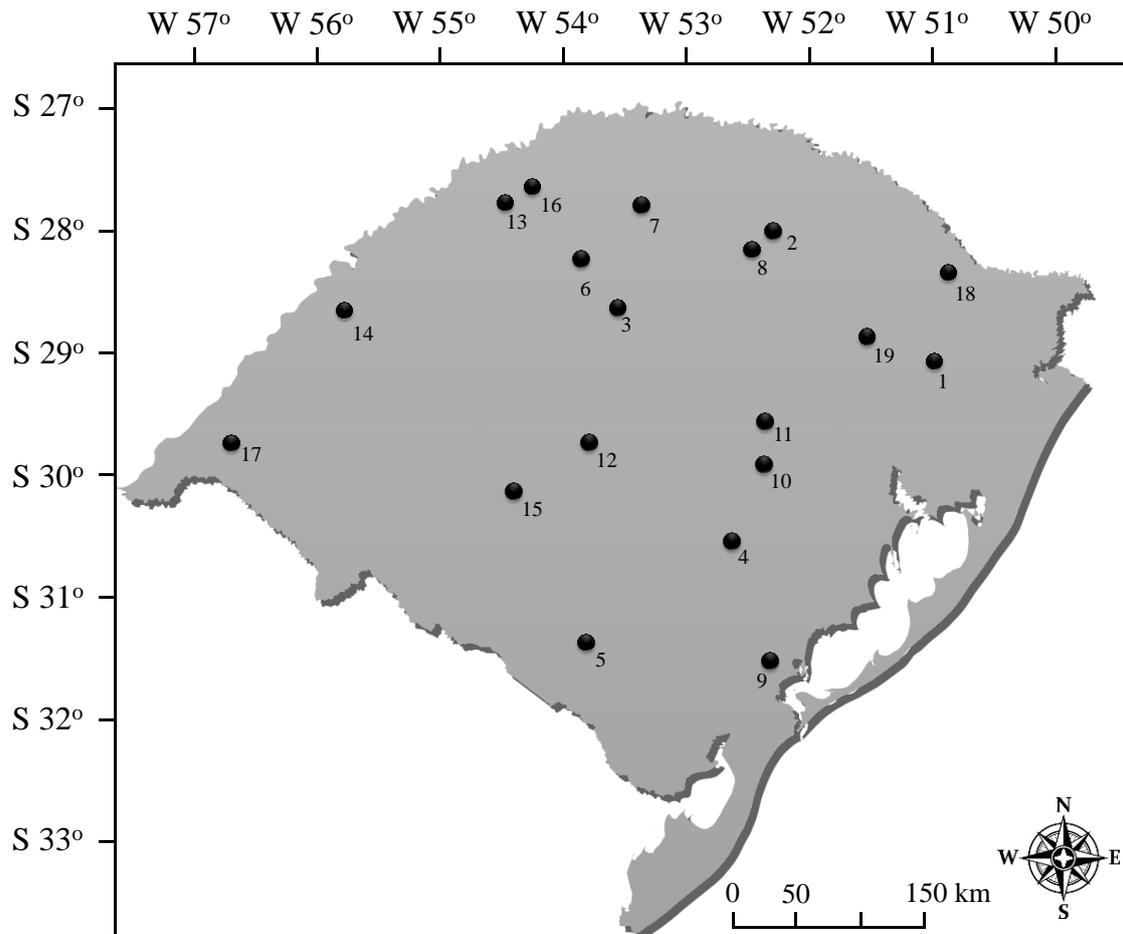


Figura 1 - Representação geográfica dos 19 locais de condução de ensaios, da Rede de Ensaios Oficiais de Girassol no Rio Grande do Sul, durante o período de 2005 a 2014. 1 = Caxias do Sul; 2 = Coxilha; 3 = Cruz Alta; 4 = Encruzilhada do Sul; 5 = Hulha Negra; 6 = Ijuí; 7 = Palmeira das Missões; 8 = Passo Fundo; 9 = Pelotas; 10 = Rio Pardo; 11 = Santa Cruz do Sul; 12 = Santa Maria; 13 = Santa Rosa; 14 = São Borja; 15 = São Gabriel; 16 = Três de Maio; 17 = Uruguaiana; 18 = Vacaria; 19 = Veranópolis.

Tabela 2 - Número de ensaios em cada local e ano e totais de ensaios por local e por ano, conduzidos na rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Número de cultivares avaliadas em cada ano.

Locais	Anos										Total
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Caxias do Sul	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Coxilha	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Cruz Alta	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Encruzilhada do Sul	-	1	1	-	1	-	1	-	-	-	4
Hulha Negra	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Ijuí	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
Palmeira das Missões	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Passo Fundo	2	2	-	1	1	-	1	1	1	1	10
Pelotas	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Rio Pardo	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	4
Santa Cruz do Sul	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2
Santa Maria	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Santa Rosa	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	3
São Borja	-	1	-	1	1	-	-	1	-	-	4
São Gabriel	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	3
Três de Maio	1	-	1	1	1	1	-	1	1	1	8
Uruguaiana	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Vacaria	-	1	-	1	1	1	1	-	-	-	5
Veranópolis	-	1	-	1	1	-	1	-	-	-	4
Total de ensaios	6	11	4	8	8	5	8	4	2	2	58
Total de cultivares em cada ano	26	40	42	34	31	28	25	28	28	17	173

- ausência de ensaio

Tabela 3 - Taxas de Inclusão, exclusão, manutenção e renovação de cultivares na rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Biênios	Inclusão (%)	Exclusão (%)	Manutenção (%)	Renovação (%)
2006 - 2005	55,17	31,03	13,79	80,00
2007 - 2006	36,51	33,33	30,16	54,76
2008 - 2007	33,33	46,03	20,63	61,76
2009 - 2008	34,62	40,38	25,00	58,06
2010 - 2009	31,11	37,78	31,11	50,00
2011 - 2010	30,00	37,50	32,50	48,00
2012 - 2011	41,86	34,88	23,26	64,29
2013 - 2012	31,71	31,71	36,59	46,43
2014 - 2013	6,67	43,33	50,00	11,76
Média de 10 biênios	33,44	37,33	29,23	52,79

Tabela 4 - Médias de produtividade de grãos, teor de óleo e produtividade de óleo de cultivares avaliadas na rede de ensaios de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), no período de 2005 a 2014, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

Ano	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Teor de óleo (%)	Produtividade de óleo (kg ha ⁻¹)
2005	1543,65	43,83	674,66
2006	2113,69	43,76	921,92
2007	2136,74	41,85	897,24
2008	1723,66	43,62	750,16
2009	1765,48	43,79	772,55
2010	2775,86	42,46	1185,99
2011	2150,70	43,84	948,10
2012	1874,12	42,25	792,20
2013	2358,88	42,68	1007,76
2014	2312,88	44,31	1026,49
Média do período	2075,57	43,24	897,71

Tabela 5 - Progresso genético anual e percentagem de progresso genético anual para a produtividade de grãos, de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.), para o estado do Rio Grande do Sul (RS), no período de 2005 a 2014.

Biênios	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Teor de óleo (%)	Produtividade de óleo (kg ha ⁻¹)
Progresso genético anual			
2006 - 2005	-156,19	-1,09	-98,12
2007 - 2006	658,50	-0,40	261,86
2008 - 2007	385,60	0,92	163,76
2009 - 2008	74,11	0,08	33,11
2010 - 2009	168,24	1,12	116,83
2011 - 2010	157,75	1,61	105,41
2012 - 2011	-74,33	-1,43	-57,81
2013 - 2012	-304,64	-0,59	-144,25
2014 - 2013	-225,76	-0,48	-104,19
Balanço do progresso genético anual			
Ganho genético por ano	132,46	-0,17	48,11
Ganho genético em % ano ⁻¹	8,58	-0,38	7,13

6 DISCUSSÃO

Os resultados observados nesse trabalho indicam que os programas de melhoramento genético vegetal, foram eficientes no lançamento de novas cultivares para o estado do Rio Grande do Sul. Essa afirmação é válida pelo ganho genético observado para produtividade de grãos em aveia branca, trigo e girassol. Outras variáveis, como o peso hectolítrico em aveia branca e produtividade de óleo em girassol também apresentaram ganho genético, a variável teor de óleo em girassol não apresentou nenhum progresso genético, sugerindo que sejam repensadas as estratégias junto aos programas de melhoramento genético, para aumentar o teor de óleo nas futuras cultivares lançadas no Rio Grande do Sul.

Progressivamente as culturas que apresentaram maior progresso genético (aveia branca, trigo e girassol), também apresentaram a maior taxa de renovação de cultivares (aveia branca 14,8%, trigo 27% e girassol 52,79%). De modo oposto, as cultivares com maior progresso genético também apresentaram as menores taxas de manutenção (aveia branca 78,9%, trigo 57,3% e girassol 29,23%). Esses resultados indicam que programas de melhoramento genético dinâmicos, que proporcionem as redes de ensaios de cultivares, elevadas taxas de renovação e baixas taxas de manutenção de cultivares, alcançam maior progresso genético.

O progresso genético em aveia branca sem o uso de fungicida foi superior ao progresso genético com o uso de fungicidas, indicando que as novas cultivares lançadas, apresentam tolerância as principais raças de doenças fúngicas presentes nas regiões de condução dos ensaios. Estudos semelhantes a esse, podem vir a ser realizados em outras culturas, como uma ferramenta para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento genético vegetal, na introdução de genes de resistência a doenças fúngicas nas cultivares lançadas.

A avaliação do progresso genético em regiões homogêneas é promissora, em função dos diferentes progressos encontrados nas regiões homogêneas de condução de ensaios de trigo no Rio Grande do Sul, onde na região 2 o progresso genético foi 2,4 vezes superior o progresso genético da região 1. Assim, pode-se sugerir que os programas de melhoramento genético da cultura de trigo no Estado, direcionem seus esforços para ser alcançado futuramente um maior ganho genético na região 1.

De modo geral, a estratificação do estudo em regiões homogêneas de cultivo, é uma maneira para melhor caracterização da região de cultivo e direcionamento dos programas de

melhoramento em suas estratégias para as regiões com menor progresso genético. Essa estratificação em regiões homogêneas de cultivo, também pode ser utilizada em outras culturas, para melhor controle do ganho genético por região de cultivo.

A produção de óleo consiste na geração do produto de maior interesse econômico na cultura de girassol, no entanto o seu progresso genético está ocorrendo em função do aumento de produtividade de grãos, visto que não houve progresso genético para a variável teor de óleo. Sugere-se que seleções para aumentar o teor de óleo em programas de melhoramento genético direcionado ao estado do Rio Grande do Sul, podem contribuir para o lançamento de cultivares que proporcionem uma maior produtividade de óleo.

Estudar o progresso genético das culturas agrícolas é uma maneira de analisar a eficiência dos trabalhos de pesquisas direcionados ao lançamento de novas cultivares, sugere-se que novos estudos sejam realizados futuramente para ter-se uma caracterização da situação das culturas de aveia branca, trigo e girassol no estado do Rio Grande do Sul.

7 CONCLUSÃO

No estado do Rio Grande do Sul, nas culturas de aveia branca (*Avena sativa* L.), de trigo (*Triticum aestivum* L.) e de girassol (*Helianthus annuus* L.), houve progresso genético para a produtividade de grãos.

O progresso genético anual para a produtividade de grãos de aveia branca, no período de oito anos no RS foi de 1,02% com a utilização de fungicida, e de 4,02% sem a utilização de fungicida. Com relação ao peso hectolítrico, o progresso anual foi de 0,08% para ensaios com fungicida e 0,71% sem aplicação de fungicida. A condução da rede de ensaios, com e sem o uso de fungicida na parte aérea é viável para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento, na introdução de genes de resistência a patógenos nas cultivares lançadas.

O progresso genético anual para a produtividade de grãos de trigo, no período de 12 anos, no estado do Rio Grande do Sul foi de 2,86%, oscilando entre as regiões homogêneas de cultivo. A diferença de progresso genético anual da região 1 (1,82%) em relação a região 2 (4,38%), justifica o estudo do progresso genético por regiões homogêneas de cultivo.

O progresso genético anual de girassol no período de 10 anos (2005-2014), para a produtividade de grãos foi de 132,46 kg ha⁻¹ ano⁻¹, para teor de óleo foi de -0,17% ano⁻¹ e para produtividade de óleo foi de 48,11 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os programas de melhoramento genético da cultura de girassol no estado do Rio Grande do Sul foram eficientes para as variáveis produtividades de grãos e produtividade de óleo e não apresentaram eficiência para o teor de óleo.

8 REFERÊNCIAS

- ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas Regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 105-112, 1994.
- ALLIPRANDINI, L.F.; TOLEDO, J. F. F. de; FONSECA, N. S.; KIIHL, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. de. Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 489-497, 1993.
- ATROCH, A. L. e NUNES, G. H. de S. Progresso genético em arroz de várzea úmida no Estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 767-771, 2000.
- AMORIM NETO, S.; ANDRADE, W. E. de B.; COSTA, R. A. da. Aumento da produtividade de arroz irrigado no Estado do Rio de Janeiro de 1981/82 a 1991/92. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 369-374, 1998.
- BELL, M. A.; FISCHER, R. A.; BYERLEE, D.; SAYRE, K. Genetic and agronomic contributions to yield gains" A case study for wheat. **Field Crops Research**, v. 44, p. 55-65, 1995.
- BORÉM, A. e MIRANDA G. V. **Melhoramento de Plantas**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 529 p.
- BRASIL. Instrução Normativa N° 3, de 14 de outubro de 2008. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 out. 2008a. Seção 1, p. 31.
- BRASIL. Instrução Normativa n° 58, de 19 de novembro de 2008. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 nov. 2008b. Seção 1, p. 3.
- CASTIGLIONI, V. B. R. e OLIVEIRA, M. F. de. **Hibridação em Girassol**. In: BORÉM, A. (Org.) Hibridação artificial de plantas. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 625p.
- CARVALHO, C. G. P. et al. **Informes da avaliação de genótipos de girassol 2014/2015 e 2015**. Londrina: Embrapa soja, 2015. 106p.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos, safra 2016/17 – Primeiro levantamento**. V. 4, Brasília: Conab, outubro de 2016. 164p.
- CRUZ, C. D., **Princípios da genética quantitativa**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 394p.
- LANGE, C. E. e FEDERIZZI, L. C. Estimation of soybean genetic progress in the South of Brazil using multi-environmental yield trials. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 309-316, 2009.
- MAY, W. E.; AMES, N.; IRVINE, R. B.; KUTCHER, H. R.; LAFOND, G. P.; SHIRTLIFFE, S. J. Are fungicide applications to control crown rust of oat beneficial? **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, p. 911-922, 2014.

MILACH et al., 2009. **Hibridação em Aveia**. In: BORÉM, A. (Org.) Hibridação artificial de plantas. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 625p.

MORI, C. de. **Aspectos econômicos da produção e utilização**. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. Trigo do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, 2015. 260p.

RAMALHO, A. P. R.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A. de; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. de. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: Editora UFLA, 2012. 566 p.

STORCK, L.; BISOGNIN, D. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 40, p. 881-886. 2005.