

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 – DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Anelise Brun

00303824

*Acompanhamento de atividades no Programa de Melhoramento Genético de Trigo da
Universidade do Kentucky, Estados Unidos da América*

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE AGRONOMIA

CURSO DE AGRONOMIA

Acompanhamento de atividades no Programa de Melhoramento Genético de Trigo da Universidade do Kentucky, Estados Unidos da América

Anelise Brun

00303824

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Engenheiro Agrônomo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Dr. David Van Sanford

Orientador Acadêmico do Estágio: Dr. André Luis Vian

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof^a. Renata Pereira da Cruz – Depto. de Plantas de Lavoura (Coordenadora)

Prof. Alexandre de Mello Kessler – Depto. Zootecnia

Prof. Clesio Gianello – Depto. de Solos

Prof. José Antônio Martinelli – Depto. Fitossanidade

Prof^a. Lucia Brandão Franke – Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Prof. Sérgio Luiz Valente Tomasini – Depto. de Horticultura e Silvicultura

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial a meus pais, Vania e Marcos. Ao meu pai, produtor rural, gratidão por me incentivar, desde criança, a seguir a profissão de Engenheira Agrônoma e por ser o meu maior exemplo profissional. À minha mãe, pelo estímulo a superar todos os desafios e a buscar conhecimento sempre além do básico e essencial. Obrigada por todo o suporte e pelas possibilidades que me ofereceram.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tenho orgulho de carregar o nome dessa instituição de tanto peso na minha formação.

A todos os professores da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial aos mestres do Departamento de Plantas de Lavoura. Seus ensinamentos, além de essenciais, serviram de incentivo para eu seguir nessa área que tanto admiro.

Ao meu orientador André Luis Vian, por todo apoio, não somente durante o estágio e na escrita deste documento, mas durante grande parte de minha graduação.

A todas as amigas que construí durante a faculdade. Obrigada por fazerem os dias intensos parecerem mais leves.

A todos os meus amigos de vida. Vocês foram essenciais durante esse tempo longe de casa, obrigada por todo apoio, conselhos e ensinamentos.

A todo Wheat Breeding Team da Universidade do Kentucky, pela recepção, aprendizados e troca cultural, em especial ao meu orientador durante o estágio, David. Gratidão pela oportunidade de poder ver a agricultura de uma nova forma, e me passar parte de seu amor pelo trigo e pelo melhoramento.

A todas as amigas que construí durante o estágio, em especial Gabriela, Mariana e Joaquin. Vocês fizeram o Kentucky parecer lar, mesmo estando a nove mil quilômetros longe dele.

RESUMO

O presente trabalho é fruto de um estágio que aconteceu na Universidade do Kentucky (UKY), no Grupo de Melhoramento Genético de Trigo, localizado no município de Lexington, no Estado do Kentucky, Estados Unidos da América, durante os meses de julho a novembro de 2022. O objetivo do estágio foi acompanhar os processos de desenvolvimento de novas variedades de trigo, por meio de atividades como seleção, trilha, e preparação de sementes para a semeadura, bem como testes de qualidade industrial e incidência de *Fusarium spp.* em pós colheita, de diferentes genótipos de trigo de inverno. Foi possível maior entendimento da tamanha importância do melhoramento genético de plantas, e como este funciona na prática. Ademais, buscou-se a pluralidade de experiências acadêmicas internacionais e trocas culturais.

Palavras-chave: Trigo. Melhoramento genético. Giberela.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do estado do Kentucky e do município de Lexington (em preto) no mapa dos EUA.....	8
Figura 2: Seleccionador óptico de grãos de trigo giberelados.....	17
Figura 3: Amostras modelo com porcentagem de grãos giberelados já quantificados para teste FDK (A), amostra de 50g a ser analisada (B), triturador de café contendo os grãos de trigo (C) e amostra triturada (D).....	18
Figura 4: Seleção das melhores espigas para trilha.....	19
Figura 5: Processo de trilha nas bandejas (A), disposição das sementes de uma mesma família ocupando duas bandejas (B), união de 20 bandejas (10 famílias) formando uma bandeja grande (C).....	19
Figura 6: Seleção de grãos (A) e organização das bandejas de plantio da geração F1 (B).....	20
Figura 7: Etiquetagem (A) e pesagem (B) de sementes, organização dos envelopes de acordo com o mapa de plantio (C).....	21
Figura 8: Mudanças de trigo nas bandejas (A), substrato preparado nos vasos (B) e mudas de trigo já transplantadas nos vasos (C).....	21
Figura 9: Semeadura a campo (A) e máquina semeadora (B).....	22
Figura 10: Amostras de trigo, farinha e massa (A) e processo de mistura dos ingredientes para produção das massas de pães (B).....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DE KENTUCKY	8
3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO	9
3.1 Universidade do Kentucky.....	9
3.2 Programa de Melhoramento Genético de Trigo da UKY	10
4. REFERENCIAL TEÓRICO	11
4.1 Trigo nos Estados Unidos e suas classes	11
4.2 Caracterização do trigo de inverno.....	12
4.3 Melhoramento genético de trigo.....	13
4.4 Influência da giberela na qualidade do grão de trigo	15
5. ATIVIDADES REALIZADAS	17
5.1 Processos de pré-seleção de linhagens resistentes ao <i>Fusarium</i>	17
5.2 Seleção de espigas e trilha	18
5.3 Seleção, organização, etiquetagem e pesagem das sementes para o plantio.....	20
5.4 Transplante e semeadura	21
5.5 Testes de qualidade de pães	22
5.6 Outras atividades: participação em congresso, dias de campo e auxílio em atividades de outros grupos da Universidade.....	23
6. DISCUSSÃO	24
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
APÊNDICE A - Participação no American Society of Agronomy, Crop Science and Soil Science Annual Meeting	33
APÊNDICE B - Participação no dia de campo do Grupo de Melhoramento Genético de Tabaco	33
APÊNDICE C - Realização de coletas de solo	34

1. INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais de maior importância global, representando 30% da produção mundial de grãos, sendo utilizado, tanto no consumo humano (farinha, macarrão, biscoitos, bolo, pães, etc.) quanto na alimentação animal, na forma de forragem, de grão ou na composição de ração (De Mori; Ignackzac, 2011). O melhoramento genético desse cereal é de grande relevância para o incremento da produtividade mundial, visto que esse visa desenvolver resistência a moléstias, bem como a elevação das características químicas e nutricionais do grão.

O estágio curricular obrigatório foi realizado na Universidade do Kentucky, localizada na cidade de Lexington, no estado de Kentucky, Estados Unidos da América (EUA). Teve duração de 4 meses, entre julho de 2022 a novembro do mesmo ano, totalizando 640 horas, das quais 300 foram contabilizadas para estágio obrigatório.

O estado do Kentucky está localizado na região sudeste dos EUA e pertence à região do “Corn Belt”. Mais de 50% do Estado é ocupado por atividades agrícolas, e a produção se baseia em silvicultura, milho, soja, tabaco e trigo (USDA, 2022). A cidade na qual foi realizada o estágio, Lexington, é conhecida como a Capital Mundial do Cavalo e centro de melhoramento genético da raça Puro-Sangue Inglês (VISITLEX, 2022).

As atividades do estágio foram realizadas no departamento de Ciências de Plantas e de Solo (*Plant & Soil Sciences*), no Programa de Melhoramento Genético de Trigo, em parceria com a *Kentucky Small Grain Growers Association*. As atividades eram conduzidas em laboratório no Campus Central e em outras duas fazendas experimentais da Universidade: *North Farm*, em Lexington, e no *The C. Oran Little Research Center* na cidade de Versailles. A supervisão das atividades foi realizada pelo Prof. Dr. David Van Sanford, bem como pelos seus orientados de Doutorado.

O objetivo do estágio foi acompanhar as etapas de desenvolvimento de novas cultivares de trigo dentro de um programa de melhoramento genético, por meio do auxílio em atividades a campo e em laboratório. Também foi possível a participação em eventos acadêmicos e dias de campo.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DE KENTUCKY

O estado do Kentucky localiza-se na região Sudeste dos Estados Unidos da América (EUA) (Figura 1), tendo a cidade de Frankfort como a capital. As suas fronteiras são delimitadas pelo Rio Ohio (norte), Rio Mississippi (Sudoeste) e região montanhosa de Apalaches (leste). O Estado faz divisa com os Estados de Illinois, Indiana, Ohio, Virgínia Ocidental, Virgínia, Tennessee e Missouri (ESA, 2019).

Figura 1: Localização do estado do Kentucky e do município de Lexington (em preto) no mapa dos EUA.



Fonte: Wikipedia (2023).

Originalmente, fazia parte da Virgínia e, no ano de 1792, foi o 15º Estado a fazer parte dos EUA, possuindo 4,5 milhões de habitantes (ESA, 2019; EUA, 2021). Possui Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,88, considerado muito alto, e produto interno bruto de US\$ 244 bilhões, ocupando a 28ª posição no País (Global Data Lab, 2022).

O Estado possui montanhas com florestas ao leste, colinas ao centro e agricultura intensiva a oeste. A altitude varia de 80 metros na região do Rio Mississippi, até 1.260 metros na fronteira com o estado da Virgínia. Aproximadamente, 50% da área estadual (4 milhões de ha) é usada para silvicultura, sendo as principais espécies o carvalho, a noqueira e o bordo.

O Estado do Kentucky possui uma forte influência rural, tanto na agricultura quanto na pecuária de corte. Os grãos mais produzidos são milho, soja e trigo, além de ser o Estado com o maior número de fazendas de tabaco nos EUA e o segundo em maior volume de produção, com um total de 43 mil toneladas no ano de 2022 (Karathanasis, 2018; USDA 2022). A área total utilizada para agricultura em 2022 foi de 1,6 milhões de hectares, e a receita agrícola dos principais produtos comercializados foi de US\$ 6 bilhões (USDA, 2022).

Os materiais geológicos que deram origem aos solos do Estado são principalmente sedimentares. São eles: calcário, arenito, siltito, xisto e argila (Karathanasis, 2018). Os solos se caracterizam por serem heterogêneos, sendo que nas regiões centrais do estado são

considerados velhos e bem intemperizados, e na região sudoeste, encontram-se solos jovens com baixo desenvolvimento de perfil. Devido a essa grande diversidade de topografia e materiais de origem, existem 330 séries de solos mapeados no Kentucky, divididos em 6 ordens taxonômicas: Alfissolos, Argissolos, Inceptissolos, Entissolos, Mollissolos e Vertissolos (Karathanasis, 2018).

O município de Lexington localiza-se no condado de Fayette, considerado o segundo município mais populoso do Estado (322.000 habitantes) (EUA, 2021). A cidade é delimita por áreas rurais, possuindo mais de 450 fazendas de criação de cavalo Puro-Sangue Inglês (VISITLEX, 2022). Também possui forte influência de destilarias de whisky, sendo que a região é a pioneira mundial do Bourbon, bebida feita com 51% de milho. A economia é fortalecida pela produção animal, turismo rural, serviços e produção de grãos (Karathanasis, 2018).

A classificação climática do município é do subtipo Cfa, Úmido Subtropical, com média de temperatura anual de 13°C e precipitação de 1.168 mm ano. A região se caracteriza por possuir verões chuvosos, com temperatura média de 18°C, e invernos com média de 6 °C e com até 100 centímetros de neve por ano (Karathanasis, 2018).

Em Lexington há a predominância de Alfissolos, além de estarem presentes em grande parte do Estado (45% da área), devido a extensas formações calcárias e ao clima subtropical úmido. São solos moderadamente lixiviados, relativamente profundos, com uma subsuperfície de argilas siliciosas, e saturação de bases moderada a alta. São solos altamente produtivos, com alta concentração de calcário, porém são fortemente suscetíveis à erosão quando a superfície fica desprotegida de cobertura vegetal (Karathanasis, 2018).

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

3.1 Universidade do Kentucky

A Universidade do Kentucky (UKY) foi fundada em 1865, por meio da Lei Morrill, responsável por ajudar os estados dos EUA a financiar faculdades especializadas em agricultura e engenharia. O estado do Kentucky concedeu uma área, e, inicialmente, a universidade levava o nome de *Agricultural and Mechanical College of the Kentucky University*. A Universidade do Kentucky é pública e atua no ensino, pesquisa e extensão (UK, 2022). É a maior e mais bem avaliada universidade do estado, compreendendo 17 faculdades, 93 cursos de graduação, 99 programas de mestrado e 66 programas de doutorado, recebendo mais de 30 mil estudantes de

115 países (UK, 2022). Nos últimos sete anos, a universidade ultrapassou o valor de US\$ 200 milhões recebidos em prêmios de projetos patrocinados, além de estar no 19º no ranking nacional de instituições públicas em produtividade acadêmica. O investimento atual com pesquisa supera o valor de US\$ 332 milhões, gerando melhorias na produtividade industrial, lucratividade agrícola e na saúde dos moradores do Estado (UK, 2022).

A *College of Agriculture, Food and Environment (CAFE)* é uma das 17 faculdades da UKY, e possui 14 departamentos. A faculdade recebe anualmente cerca de US\$ 58 milhões por meio de doações e contratos externos, com mais de 300 projetos de pesquisa abordando temas como agricultura, agronegócio, comércio internacional, nutrição, solo e pecuária (UK CAFE, 2022).

O Departamento de Ciências de Plantas e de Solo (*Plant & Soil Sciences*), um dos 14 departamentos da CAFE, possui projetos voltados à ciência agrícola, biologia molecular de plantas e ciência do solo. O Departamento possui sede no campus central em Lexington, além de atuar no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Tabaco do Kentucky, e no *Robinson Center*, centro de pesquisa em utilização de madeira em Quicksand, KY. O Departamento também possui três fazendas experimentais. São elas: *The C. Oran Little Research Center*, com 600 ha em Versailles, KY; *North Farm*, com 800 ha em Lexington KY; e, por fim, *UK Research & Education Center*, com 500 ha em Princeton, KY (PSS, 2022).

3.2 Programa de Melhoramento Genético de Trigo da UKY

O Programa de Melhoramento Genético de Trigo da UKY é liderado pelo melhorista Dr. David Van Sanford. O Programa teve início em 1981, quando o Dr. Van Sanford ingressou na universidade como professor de genética aplicada e quantitativa para o curso de ciências agrícolas da UKY. O programa é focado em criar novas variedades de trigo soft vermelho de inverno (*Triticum aestivum* L.), para o Estado do Kentucky e região centro-sul dos EUA. Além de ser financiado pela universidade, o programa recebe apoio da Kentucky Small Grain Growers Association, associação que tem por objetivo fomentar a pesquisa de novas variedades de cereais de inverno. Além do melhorista chefe, Dr. Van Sanford, o Programa possui um técnico de campo e uma técnica em estatística, três alunos de doutorado e estagiários sazonais (Informação verbal)¹.

O foco do programa é desenvolver variedades de trigo com resistência a doenças, principalmente ao fungo *Fusarium graminearum* (causador da giberela), altas produtividades, qualidade industrial e ciclo precoce, por meio do método genealógico de seleção, ou *pedigree*.

O programa possui o próprio banco de germoplasma, com acessos originados das diversas regiões dos EUA e do mundo. Anualmente, são realizados cerca de 400 cruzamentos de parentais e semeadura de avanços de gerações em cerca de 8 mil parcelas, em três diferentes municípios do Estado: Lexington, Princeton e Versailles (Informação verbal)¹.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Trigo nos Estados Unidos e suas classes

O trigo é um dos cereais de maior importância global, sendo um dos grandes responsáveis pela fixação dos povos primitivos na região do crescente fértil, dando início à agricultura (Federizzi *et al.*, 1999). O grão possui alto valor nutricional, sendo rico em carboidratos e proteínas, indispensáveis para a dieta humana e animal, sendo que de todos os produtos derivados de trigo, aqueles feitos com farinha, ocupam um lugar de destaque, visto que são essenciais na alimentação básica da população mundial (Giraldo *et al.*, 2019).

Nos EUA, o trigo é o terceiro grão mais cultivado, atrás apenas do milho e da soja. Em 2023, foram cultivados no país cerca de 20 milhões de ha de trigo, com produção de 46 milhões de toneladas do grão. O Estado do Kentucky contribui anualmente com aproximadamente 214 mil ha, com produtividade média de 5,3 toneladas ha⁻¹, acima da média nacional de três toneladas ha⁻¹ (USDA, 2023).

O trigo pertence à família *Poaceae* e gênero *Triticum*, sendo o Trigo Comum (*Triticum aestivum*, *subsp. aestivum*), hexaploide e o Trigo Durum (*Triticum durum*), tetraplóide, os mais cultivados mundialmente. Nos EUA, são cultivadas seis classes do grão (Trigo Duro Vermelho de Inverno; Trigo Duro Vermelho de Primavera; Trigo Soft Vermelho de Inverno; Trigo Soft Branco; Trigo Duro Branco e Trigo Durum), sendo que elas possuem características diferentes em relação à época de plantio, cor do pericarpo, teor de proteína e teor de glúten (US Wheat Associates, 2023).

Características como teor de proteína e força de glúten possuem forte controle genético e definem o destino da farinha, pois são responsáveis pela extensibilidade, força e firmeza da massa. Classes que apresentam alto teor de proteína e elevada força de glúten são destinadas majoritariamente para a fabricação de pães, conferindo ao produto alta capacidade de retenção de gás carbônico, resultando em maior volume, enquanto aquelas que apresentam tais

¹ Informação fornecida pelo Professor Dr. Van Sanford.

características em menores quantidades são matérias primas para bolachas e bolos (Guarenti, 1996).

O Trigo Duro Vermelho de Inverno e o de Primavera (*Triticum aestivum*, *subsp. aestivum*) são os mais cultivados nos EUA (50% da área) e apresentam endosperma de dureza alta e pericarpo vermelho. Possuem como características a excelente qualidade de panificação, com teor médio a alto de proteínas (10%-15%) e de glúten, podendo ser utilizados como melhoradores em misturas com outras classes, pois garantem estabilidade de massa (US Wheat Associates, 2023; USDA 2023). O Trigo Soft Vermelho de Inverno (*Triticum aestivum*, *subsp. aestivum*) possui o maior rendimento por hectare de todas as classes, sendo o terceiro mais cultivado no país (2 milhões ha) e o mais cultivado no Estado do Kentucky. Seu uso é destinado majoritariamente para a fabricação de bolos e biscoitos, já que possui uma baixa força de glúten e baixo teor de proteínas (8,5%- 10,5%), não possuindo como destino principal a fabricação de pães (Castellari *et al.*, 2023).

4.2 Caracterização do trigo de inverno

O trigo é um cereal adaptado a diferentes latitudes e condições climáticas. O gene *VNR1* (VERNALIZATION1) é responsável pelo hábito de crescimento de primavera ou inverno do cereal. Tal gene, na forma recessiva *vnr1*, determina uma variedade de inverno, a qual requer vernalização para indução ao florescimento. O gene *VNR1*, na sua forma dominante, caracteriza uma variedade de primavera (Milec *et al.*, 2022).

No Brasil, país de invernos não rigorosos, o trigo cultivado é somente o de primavera, sendo comumente semeado nos Estados do Sul (maiores produtores) no final do outono e início do inverno e colhido durante a primavera, podendo seu ciclo variar entre 4 a 5 meses no campo. Já o trigo de inverno, cultivado em grande parte dos EUA e na maior parte do Estado do Kentucky, é semeado no início do outono do hemisfério norte e colhido no final da primavera e início do verão, com um ciclo de até 9 meses.

Variedades de trigo de inverno, usualmente semeadas no mês de outubro, permanecem em estágio vegetativo caso não ocorra o processo de vernalização, caracterizado pela exposição da planta a períodos prolongados de frio, sendo que nas condições ambientais do Estado do Kentucky, são necessárias cerca de 3 a 6 semanas, em temperaturas abaixo de 7 °C para indução ao florescimento (Lee; Herbeck; Trimble, 2009). À medida que a temperatura do solo diminui após a semeadura, o ponto de crescimento da planta, ainda abaixo do solo, passa a reduzir o teor de umidade de suas células, resultando em acúmulo de carboidratos e retardamento do seu

crescimento. Tal processo fisiológico também é responsável pela aclimatação da planta a períodos de frio extremo, de forma que quando inicia o período de temperaturas negativas, o trigo já possui reservas suficientes para entrar na sua fase de quiescência (Pennington; Costa, 2020).

Plantas que necessitam passar pelo processo de vernalização são caracterizadas por serem de dias longos, florescendo pela indução do comprimento do dia (Kim *et al.*, 2009). A combinação do fotoperíodo indutivo e da vernalização garantem que o trigo não floresça durante o inverno enquanto os dias são curtos, mas durante a primavera, no transcorrer do mês de março, quando os dias são longos, favorecendo maiores produtividades (Sharma *et al.*, 2020). Após o período de enchimento de grãos e a maturação fisiológica, a colheita acontece durante os meses de maio, junho e julho, quando os grãos alcançam umidade de colheita.

4.3 Melhoramento genético de trigo

O trigo chegou aos EUA no século XVII, por meio de imigrantes europeus, majoritariamente franceses e ingleses, os quais cultivavam o grão há mais de dois séculos (Ball, 1930). O solo e o clima norte americano não eram favoráveis para o cultivo do trigo vindo da Europa e, em 1860, os primeiros episódios de ferrugem do colmo e carvão foram relatados, quando epidemias dessas doenças destruíram plantações da região Nordeste do País (Ball, 1930).

O método de seleção de plantas passou a ser utilizado pelos próprios agricultores, nas quais sementes de plantas de trigo que apresentavam melhor performance em resistência a doenças e maior produtividade devido a sua variabilidade genética natural, seguiam para a próxima safra (Ball, 1930). Por ser uma planta autógama de flores perfeitas e se reproduzir sexuadamente por meio da autopolinização, para que ocorra variabilidade genética de forma artificial, o trigo deve passar pelo processo de hibridação (Borém; Miranda, 2009).

Foi em 1870, que ocorreu o primeiro registro de hibridação de trigo nos EUA, pelo botânico Charles G. Pringle, no Estado de Vermont (Ball, 1930). O método de hibridação consiste no cruzamento entre dois genitores ou mais, geneticamente diferentes, que possuam características de interesse para sua progênie. Pelo processo de emasculação, retiram-se as anteras na espiga genitora feminina e faz-se a polinização artificial com pólen do genitor masculino (Borém; Miranda, 2009). As sementes formadas na espiga feminina denominam-se F_1 e podem ser retrocruzados com um de seus genitores, quando esses apresentarem grandes

diferenças fenotípicas, ou ainda ser cruzado com um terceiro genitor, sendo esse denominado cruzamento triplo (Federizzi *et al.*, 1999).

Para que uma nova variedade de trigo proveniente de um programa de melhoramento genético seja lançada, deve possuir alta produtividade e qualidade industrial superior (Englund, 2012). Além disso, é importante que apresente resistência ao acamamento e às principais doenças, como é o caso da ferrugem da folha (*Puccinia triticina*), do colmo (*Puccinia graminis f. sp. tritici*), giberela (*Fusarium spp.*) e oídio (*Blumeria graminis f.sp. tritici*) (Lee; Herbeck; Trimble, 2009).

Após o processo de hibridação, busca-se atingir homozigose suficiente para a uniformidade fenotípica do genótipo, por meio de linhagens puras. Para a condução das gerações segregantes, existem diferentes métodos que o programa de melhoramento pode seguir. São eles: método massal, genealógico ou *pedigree*, SSD (*Single Seed Descent*), retrocruzamento, duplo-haplóide e seleção recorrente, ou ainda, a combinação de mais de um método (Rutkoski *et al.*, 2022). O método mais utilizado para a condução das gerações segregantes em cereais de inverno é o genealógico ou *pedigree*, pois visa o total controle de seleção das progênies (Federizzi *et al.*, 1999). Nesse método, a partir das gerações segregantes iniciais, cada planta superior que é selecionada dará origem a uma família na geração seguinte, mantendo-se sempre o registro genealógico (Allard, 1971).

No método genealógico, depois de realizada a hibridação de parentais e a obtenção da geração F₁, a geração F₂ deve ser semeada espaçada a campo, de forma que seja possível avaliar e selecionar as melhores plantas individualmente. Cada planta selecionada em F₂ formará uma única linha em F₃, recebendo identificação genealógica, possibilitando estabelecer o grau de parentesco entre as selecionadas. As plantas F₃ darão origem às sementes F₄, que serão novamente semeadas na forma de famílias, em uma única linha por planta selecionada (Borém; Miranda, 2009; Rutkoski *et al.*, 2022). Conforme o avanço de gerações, já entre F₅ e F₆ e aumento da homozigose, a seleção passa a ocorrer entre famílias, e não mais entre plantas (Allard, 1971).

Uma das características desse método é que a seleção entre plantas só poderá ocorrer quando a semeadura for realizada na região e na época representativa de onde o novo cultivar será lançado, de forma que, mesmo que ocorra avanço de gerações fora da estação normal de cultivo, a seleção não será realizada (Borém; Miranda, 2009). Após a condução e o avanço das gerações segregantes e obtenção da homozigose, iniciam-se os testes em ensaios preliminares de rendimento (EPL) e ensaios de valor de cultivo e uso (VCU). Tais ensaios podem levar de

dois a quatro anos, quando características como produtividade e superioridade de mercado são rigorosamente testadas antes do lançamento da cultivar (Englund, 2012).

4.4 Influência da giberela na qualidade do grão de trigo

A giberela ou fusariose da espiga é uma doença fúngica, sendo uma das mais importantes da cultura, comum em diversas regiões do mundo (Del Ponte *et al.*, 2004). Segundo a Sociedade Americana de Fitopatologia, a doença causou aos produtores de trigo e cevada dos EUA perdas de até US\$ 3 bilhões nos últimos 30 anos. Existe uma ampla gama de espécies de *Fusarium* que causam a doença, sendo *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* e *Fusarium avenaceum* as mais encontradas nos EUA, podendo causar danos em grãos de trigo, aveia, cevada, triticale e centeio (Bottalico; Perrone, 2002; Wegulo *et al.*, 2008). Além da diminuição da produtividade na cultura, a doença é responsável por afetar a qualidade da semente, causando diminuição da germinação, além de contaminação por micotoxinas como deoxinivalenol (DON), zearalenona (ZEA) e T2, tóxicas a seres humanos e animais (Argyris; Sanford; Tekrony, 2003; Alisaac; Mahlein, 2023).

O fungo sobrevive em restos culturais de culturas antecessoras na forma saprofítica sexual, recebendo o nome de *Gibberella zae* (Schw) Petch, liberando esporos que são transportados para o dossel da cultura por fatores abióticos ambientais como chuva e vento (Del Ponte *et al.*, 2004). No trigo, quando em contato com a espiga em condições de alta umidade em períodos de molhamento superiores a 48 horas e temperaturas entre 20°C e 30°C, os esporos infectam os tecidos por meio das anteras, penetrando até os ovários. A partir desse período, dá-se início a forma parasitária assexual do fungo, *Fusarium spp.* (Alisaac; Mahlein, 2023; Wegulo *et al.*, 2008). O período crítico de infecção inicia na extrusão das anteras, podendo durar até a maturação do grão (Del Ponte *et al.*, 2004).

A propagação do fungo ocorre pela ráquis da espiga, podendo causar senescência de espiguetas infectadas (Del Ponte *et al.*, 2004). Os sintomas visíveis de infecção incluem presença de espiguetas esbranquiçadas na fase imatura da cultura, e a formação de massa fúngica de cor avermelhada na espiga nas fases finais, sendo que espiguetas infectadas em fases iniciais comumente não produzem grãos, caso contrário, serão enrugados, de baixo peso e coloração rosada (Hershman; Johnson, 2009; Wegulo *et al.*, 2008). Infecções causadas por *Fusarium* causam reduções de valor nutricional do grão de trigo, como a diminuição de proteínas de reserva e de amilose, componentes responsáveis pela qualidade industrial dos produtos formados a partir do trigo (Boyacioglu; Hettiarachchy; Stack, 1992).

Outro aspecto importante que afeta diretamente a qualidade do grão contaminado por *Fusarium* é a presença de micotoxinas, que são metabólitos secundários tóxicos dos fungos, podendo ser produzidas tanto no campo, quanto durante o armazenamento (Prado, 2017). Deoxinivalenol (DON) é um tricoteceno do tipo B e o mais encontrado no trigo do Estado do Kentucky (Hershman; Johnson, 2009). Após o beneficiamento dos grãos, a toxina pode se manter no grão e estar presente em alimentos e rações derivadas do trigo. Por ser altamente tóxica, doses altas de deoxinivalenol podem promover vômitos, diarreia e até a morte (Iwase *et al.*, 2023). A FDA (*Food and Drug Administration*), delimitou o nível máximo de 10 ppm de DON para grãos de trigo para posterior processamento e 1 ppm para subprodutos, como farinha, massas e biscoitos (FDA, 2010). Já a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) tem como limite máximo 2 ppm para grãos antes de serem processados, e 1 ppm para alimentos derivados já processados (ANVISA, 2022). Para análise da presença e quantificação de DON presente nos grãos, o método oficial é a cromatografia líquida de alta eficiência, em que detectores de luz são capazes de mensurar tal composto em grãos triturados dissolvidos em reagentes líquidos (Waters, 2023).

A forma mais efetiva de controle da doença é por meio do desenvolvimento de variedades resistentes, podendo tal resistência se encontrar de forma passiva ou ativa. Características passivas são de caráter morfológico e fenológico e incluem tamanho de planta, presença de aristas e tempo de extrusão das anteras curto (Alisaac; Mahlein, 2023). Variedades mais altas colaboram na diminuição da umidade na espiga, por estarem em maior distância do solo, bem como a ausência de aristas, característica que reduz a retenção do inóculo na espiga. A diminuição do período de extrusão de anteras reduz o período crítico da exposição da inflorescência ao ataque do patógeno (Alisaac; Mahlein, 2023).

Já a resistência ativa se caracteriza pela resposta fisiológica da planta após infecção, sendo que existem três mecanismos de resistência a *Fusarium* amplamente aceitos: resistência à infecção inicial (I), resistência à propagação no interior da espiga (II) e redução do acúmulo de DON (III) sendo a do tipo II a mais utilizada em programas de melhoramento genético (Bai; Zhenqi; Cai, 2018). Por ser de caráter quantitativo, a resistência do tipo II se baseia na identificação de vários genes, podendo ou não estarem ligados, que não conferem a total supressão do patógeno, apenas a diminuição no nível de dano (Parlevliet, 1992).

O *Fhb1* foi o primeiro gene de resistência a *Fusarium* encontrado em cultivares de trigo chinesas, sendo a sua transferência por meio de retrocruzamento assistido por marcadores moleculares para variedades suscetíveis, eficaz. A resistência conferida pelo gene pode reduzir o dano em até 50% se comparada a cultivares suscetíveis (Bai; Zhenqi; Cai, 2018; Ma *et al.*,

2022). Atualmente, existem outros genes de resistência moderada identificados, como *TaUGT5* e *TaUGT6* que, apesar de promissores, não conferem imunidade total ao patógeno (Ma *et al.*, 2022).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

5.1 Processos de pré-seleção de linhagens resistentes ao *Fusarium*

O principal foco do programa de melhoramento da UK é a resistência das plantas ao *Fusarium graminearum*, fungo causador da giberela em trigo. Além da avaliação visual do melhorista a campo, foram realizados teste FDK (*Fusarium Damaged Kernels*) e testes para a presença e a quantificação da micotoxina DON (Deoxinivalenol) em pós-colheita.

Para a avaliação de resistência do genótipo em alta pressão de doença, é feito, a campo, o teste de “hotspot de giberela”, em gerações que apresentam alto nível de homozigose, a partir de F₅. Nesse processo, as plantas de trigo são irrigadas por névoa de água contendo alta pressão de inóculos do fungo *Fusarium graminearum* (1x10⁴ esporos por mL de água) no período de floração.

Após a colheita, os grãos, que estavam em *hotspot* e ensaios finais, seguiram para um selecionador óptico (Figura 2). Nesse processo, os grãos de cada parcela foram selecionados automaticamente, com separação dos grãos sadios daqueles danificados. Os grãos que estavam visivelmente infectados por giberela foram quantificados, podendo o genótipo ser descartado após análise do melhorista, levando em consideração outros índices de desempenho, como o nível de DON.

Figura 2: Selecionador óptico de grãos de trigo giberelados.



Fonte: a autora (2022).

Também foi feita a análise visual a partir do teste FDK (*Fusarium Damedged Kernels*) para avaliação da porcentagem de grãos giberelados dos ensaios, em amostras de 50 gramas, comparando amostras “modelo” contendo grãos com porcentagem já quantificada (Figura 3A) com as amostras de interesse (Figura 3B). Após a etapa visual, os grãos foram triturados com um moedor de café (Figura 3C e 3D), e enviados para o laboratório de microbiologia da universidade, para detectar a presença e quantificação de DON (Deoxinivalenol), micotoxina produzida pelo fungo *Fusarium graminearum*, usando testes rápidos. Para não ocorrer a contaminação entre amostras, utilizou-se um soprador de ar, com o intuito de remover resquícios de grãos entre cada trituração.

Figura 3: Amostras modelo com porcentagem de grãos giberelados já quantificados para teste FDK (A), amostra de 50g a ser analisada (B), triturador de café contendo os grãos de trigo(C) e amostra triturada (D).



Fonte: a autora (2022).

5. 2 Seleção de espigas e trilha

Nas parcelas que atingiram uniformidade fenotípica a campo entre famílias, o melhorista Dr. Van Sanford optou pela colheita de espigas da família inteira e não de plantas individuais, em algumas parcelas de F₅ e F₆. As espigas foram colhidas em *bulk*, armazenadas em envelopes de papel por um período de dois meses e posteriormente, foi realizada a avaliação visual das melhores espigas dentro da mesma família. Levou-se em consideração para a seleção do material, o tamanho e a sanidade da espiga e o enchimento uniforme de grão. Desse modo, as

espigas que apresentavam melhor qualidade visível foram trilhadas individualmente para o avanço de geração, enquanto as outras foram descartadas (Figura 4).

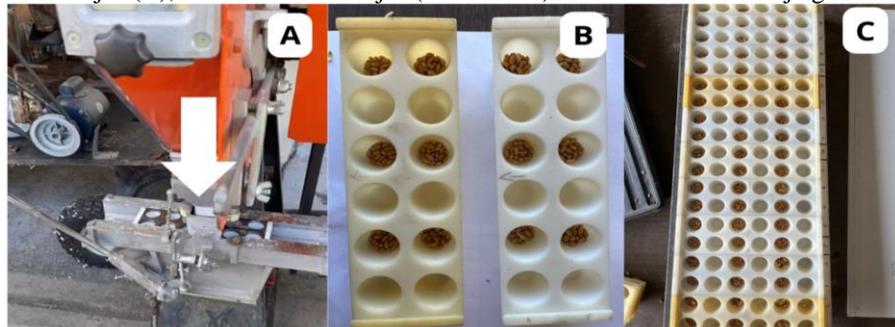
Figura 4: Seleção das melhores espigas para trilha.



Fonte: a autora (2022).

A trilha para posterior semeadura das espigas foi realizada de forma individual, de modo que as sementes de cada espiga, após passarem pela máquina de trilha, iam para um orifício dentro de uma bandeja de 12 furos (Figura 5A). Cada família trilhada ocupava duas bandejas, de modo que somente 12 orifícios (12 espigas), dos 24 presentes, foram preenchidos com sementes (Figura 5B), para maior espaçamento entre as linhas, facilitando a observação e identificação a campo após o plantio. Em conjunto com as bandejas de outras nove famílias (total de 20 bandejas pequenas), criava-se uma única bandeja grande (figura 5C), que seria fechada com tampa e armazenada até o momento da semeadura. Também foram realizadas anotações em um mapa de campo, para identificação do genótipo presente em cada bandeja.

Figura 5: Processo de trilha nas bandejas (A), disposição das sementes de uma mesma família ocupando duas bandejas (B), união de 20 bandejas (10 famílias) formando uma bandeja grande (C).



Fonte: a autora (2022).

Realizou-se também a trilha de materiais em que a seleção foi realizada por planta dentro da mesma família, nas gerações que ainda não haviam atingido homozigose, em F₃, F₄ e algumas parcelas de F₅. Cada espiga colhida foi identificada e, então, trilhada da mesma forma

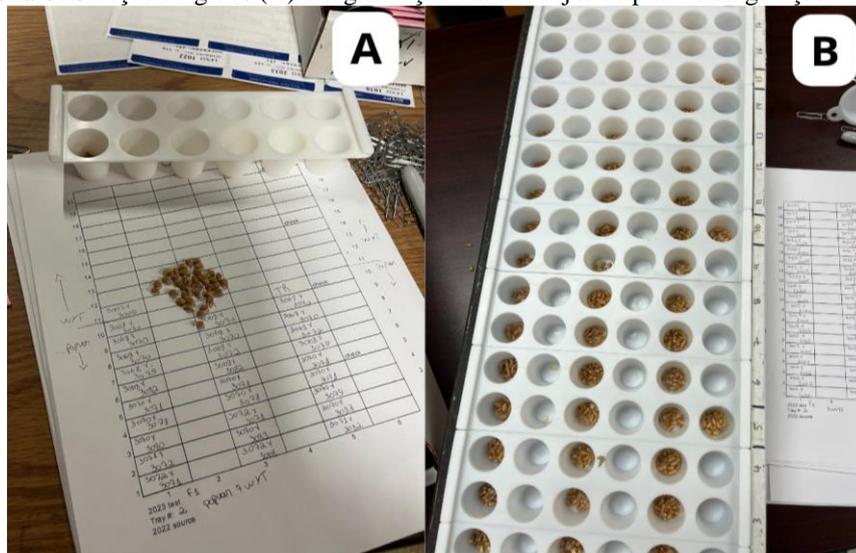
do esquema explicado acima, com a diferença de que cada bandeja era formada por espigas advindas de plantas diferentes.

5.3 Seleção, organização, etiquetagem e pesagem das sementes para o plantio

Após o cruzamento dos parentais e a obtenção dos F_1 , as sementes colhidas foram armazenadas em pequenos envelopes de papel identificados e selecionados visualmente, levando em consideração a sanidade das sementes e o seu tamanho, sendo que apenas os cruzamentos que geraram mais de 10 sementes seguiam para a próxima geração.

Dessa forma, foi feita a organização das sementes em bandejas para semeadura (Figura 6A, 6B), de modo que as sementes advindas de um mesmo cruzamento ocupavam o mesmo orifício, com registro no mapa da disposição de cada cruzamento para a obtenção das progênies F_1 no próximo ciclo da cultura. Além dos novos cruzamentos, são adicionados entre as linhas uma variedade já lançada, a qual serviria como testemunha para as avaliações de resistência.

Figura 6: Seleção de grãos (A) e organização das bandejas de plantio da geração F_1 (B).



Fonte: a autora (2022).

Além disso, para o avanço de gerações avançadas em F_6 (algumas parcelas), F_7 e ensaios finais de rendimento, nas quais as sementes foram colhidas com colheitadeira de parcelas no campo, foi realizada a pesagem de amostras de 70 g de sementes de cada genótipo e armazenadas em pequenos envelopes, bem como, a identificação do genótipo por meio da colagem de etiquetas. Tais envelopes seguiram para o campo e foram semeados em parcelas de acordo com o mapa de plantio (Figuras 7A, 7B e 7C).

Figura 7: Etiquetagem (A) e pesagem (B) de sementes, organização dos envelopes de acordo com o mapa de plantio (C).



Fonte: a autora (2022).

5.4 Transplante e semeadura

Nos meses de outubro e novembro de 2022 foi realizado o transplante de cerca de 1000 mudas de trigo de bandejas para vasos, provenientes de 170 variedades (Figura 8 A) cada uma com seis repetições. As sementes que deram origem às mudas foram semeadas em bandejas em agosto e setembro, e passaram pelo processo de vernalização, por um período de oito semanas em câmaras frias, com temperatura média de 4°C.

Antes do transplante foi realizado o preparo do substrato para os vasos (Figura 8 B), o qual foi composto por 50% de solo e 50% de mistura de musgo esfagno, perlita, calcário dolomítico e micorrizas. As mudas, após o transplante, permaneceram em estufa climatizada a 17°C com iluminação artificial (Figura 8 C), aguardando a maturidade para futura hibridação. Essas plantas foram os parentais para os cruzamentos de novas linhagens que originaram os F1, e utilizadas também em cruzamentos triplos e retrocruzamentos.

Figura 8: Mudas de trigo nas bandejas (A), substrato preparado nos vasos (B) e mudas de trigo já transplantadas nos vasos (C).



Fonte: a autora (2022).

Além do transplante em estufa, foi realizado a semeadura mecanizada a campo desde F₂ a F₆ nos municípios de Lexington (*North Farm*) e em Versailles (*The C. Oran Little Research Center*). O plantio foi realizado durante o mês de outubro de 2022. Previamente à semeadura utilizou-se grade aradora para descompactar e auxiliar na remoção de restos das culturas anteriores (milho e soja) e de plantas daninhas, que poderiam interferir na uniformidade das plantas e, conseqüentemente, nos resultados finais. Foi realizado, em seqüência, a adubação a lanço de nitrogênio, fósforo e potássio na forma mineral NPK e, em seguida, usou-se uma grade niveladora para a incorporação do adubo no solo. A semeadura mecanizada (Figuras 9A e 9B) foi realizada de forma que as sementes dispostas nas bandejas grandes, assim como foi exposto no item 5.2, eram semeadas diretamente das mesmas.

A semeadora possuía 4 linhas, espaçadas em 17 cm, de forma que duas bandejas pequenas, eram semeadas por vez, sendo que cada conjunto de sementes do mesmo orifício formava uma única linha de 1 m de comprimento. Uma esteira era responsável por mover o conjunto de bandejas, que, ao serem esvaziadas, eram alocadas em um compartimento lateral. Para tal processo, eram necessárias duas pessoas, uma responsável pela direção do trator, e a outra para a realização da troca de bandejas grandes e a remoção da tampa das mesmas.

Figura 9: Semeadura a campo (A) e máquina semeadora (B).



Fonte: a autora (2022).

5.5 Testes de qualidade de pães

Após realizada a limpeza dos grãos das amostras das gerações avançadas (80 amostras), realizou-se a moagem dos grãos na cozinha industrial da Universidade, utilizando moinho elétrico da marca Mockmill[®], na quantidade de 200 gramas de grãos por amostra. Para a produção da massa dos pães, a farinha integral resultante da moagem foi misturada com água e

fermento, em um processo de fermentação de 20 horas com temperatura de 3°C. Antes de assar as massas dos pães, foi realizada a avaliação de extensibilidade do glúten, sendo separadas amostras de 50 gramas de cada variedade. A massa foi rolada em uma “bola” e, então, esticada entre os dedos. A capacidade de esticar a massa sem ser rompida foi quantificada de 1 a 7, sendo que o valor 1 representava menor resistência e sete, a maior resistência, mensurando-se a força de glúten. Após assar os pães, medidas como altura, peso, volume e densidade de pão foram mensuradas. Também foi realizada a degustação dos pães por sete avaliadores, todos parte do grupo, para a avaliação de características sensoriais, como sabor e aroma do produto final.

Figura 10: Amostras de trigo, farinha e massa (A) e processo de mistura dos ingredientes para produção das massas de pães (B).



Fonte: a autora (2022).

5.6 Outras atividades: participação em congresso, dias de campo e auxílio em atividades de outros grupos da Universidade

Durante a segunda semana de novembro de 2022 ocorreu o *American Society of Agronomy, Crop Science and Soil Science Annual Meeting*, na cidade de Baltimore, Maryland, EUA (Apêndice A). Nesse evento, reúnem-se grandes nomes de pesquisadores das ciências agrárias de diversos países, onde são realizados palestras, workshops, apresentações de trabalho e premiações. Foi possível participar do evento juntamente com os estudantes de doutorado do grupo, os quais realizaram a apresentação de trabalhos.

No período do estágio, os diversos grupos do departamento de Ciências de Plantas e de Solo realizaram dias de campo na fazenda experimental da faculdade (*North Farm*) para apresentação de seus experimentos à comunidade, em especial a agricultores da região. Houve a oportunidade de participar dos dias de campo do grupo de Melhoramento Genético de Tabaco (Apêndice B) e do grupo de Fisiologia Vegetal com experimentos de diferentes taxas de adubação em soja. Além disso, auxiliou-se na condução de alguns experimentos nos quais o orientador Dr. Van Sanford possuía parceria, no grupo de *Soil Nutrient Management*,

auxiliando nas coletas de solo para análise (Apêndice C), e no grupo de *Weed Management*, auxiliando na colheita de milho.

6. DISCUSSÃO

Por conta do clima frio e da neve, muitos produtores norte-americanos deixam suas áreas sem cultivo durante o inverno e início da primavera, o que pode proporcionar lixiviação de nutrientes, erosão do solo e crescimento de plantas daninhas tolerantes à neve. Neste cenário, assim como descrito pela SARE (*Sustainable Agriculture Research and Education*) o cultivo do trigo de inverno representa uma excelente opção para esses produtores, pois além de propiciar diversificação de renda, atua nas lavouras como supressor de plantas daninhas, fonte de matéria orgânica e auxilia no controle da erosão do solo (SARE, 2007).

Um dos objetivos do Programa de Melhoramento Genético de trigo da UKY é criar variedades com ciclo precoce, permitindo que a semeadura de sucessão de verão em uma janela maior possa ser viabilizada, pois a colheita do trigo tem início em maio, podendo se estender até o mês de julho. Por outro lado, a semeadura da soja e do milho (culturas mais lucrativas para o produtor) têm início no final do mês de abril até o mês de junho, de forma que uma colheita tardia do trigo não possibilitaria a entrada da cultura de verão na época recomendada. O Programa já lançou variedades precoces para o Kentucky, como a *Pembroke 2021*, com colheita no final do mês de abril, o que resultou em aumento da área de trigo no Estado. Porém a produtividade dessas variedades ainda é inferior à de variedades tardias por conta da diminuição do período reprodutivo. O programa segue selecionando genótipos precoces, visando maiores produtividades.

O método genealógico ou *pedigree* utilizado pelo programa, assim como descrito por Federizzi *et al.* (1999), é adequado e um dos mais indicados para a seleção em plantas autógamas, pelo fato de que o melhorista consegue ter o controle de toda a genealogia de suas progênes, sendo possível o descarte de genótipos logo nas primeiras gerações. Por outro lado, exige muito trabalho e atenção durante a seleção do melhorista. Além disso, a mistura de sementes durante uma trilha de espigas individuais pode comprometer todo um genótipo, bem como a identificação com etiquetas erradas e problemas com as bandejas no momento da semeadura, o que pode resultar em mistura de parcelas. Tais situações ocorriam com certa frequência no programa e, para tal, a atenção da pessoa responsável pela trilha, etiquetagem e semeadura deve ser plena, para que erros como esse não sejam cometidos.

O Programa realiza avanço de gerações por meio de estufa com temperatura e luz controlada. Após o plantio dos parentais e obtenção das sementes F_1 , ocorre a semeadura sequencial de alguns genótipos dessas novas gerações na mesma estufa durante a mesma estação, por volta do mês de janeiro. Este método permite a diminuição de um ano na obtenção de uma nova cultivar, se comparado aos genótipos de F_1 que são cultivados a campo no ano seguinte. Ademais, o Programa não realiza avanço de gerações na contra estação, pelo fato de ser considerado de pequeno porte, sendo as principais limitações a estrutura física e a mão de obra, nos quais estudantes de pós graduação e estagiários são os grandes responsáveis pelo desenvolvimento das atividades. Em contrapartida, um método encontrado pelo Programa para maior agilidade e precisão em suas seleções é o uso de marcadores moleculares em genótipos que apresentam genes de interesse no DNA como é o caso do gene *Fhb1* para resistência a *Fusarium spp.*

Um dos principais impasses para o aumento de produtividade do trigo no Estado do Kentucky é a Giberela. Assim como descrito por Hershman e Johnson (2009), primaveras quentes e úmidas, aliadas com restos culturais de milho, plantado em sucessão ao trigo, favorecem a sobrevivência e disseminação do inóculo da doença. Não há nenhum método de controle que seja totalmente eficiente, por isso a importância do manejo integrado. Para o produtor, o plantio em época escalonada é uma boa alternativa, pois o momento crítico de extrusão de anteras, floração e maturação de seus talhões não irão coincidir, minimizando riscos de perdas generalizadas. A aplicação preventiva de fungicidas após o início da floração, como os triazóis, é importante, porém não possui eficácia maior que 40 - 50% (Hershman; Johnson, 2009). Por tal razão, a escolha de uma cultivar resistente é indispensável para a diminuição de danos. O programa, em parceria com a *Kentucky Small Grain Growers Association* já lançou duas variedades com resistência moderada ao patógeno *Fusarium spp.*, Pembroke 2016 e 2021, e segue desenvolvendo novas variedades.

Atualmente não existem no mundo variedades de trigo 100% resistentes à giberela. Como relatado por Parlevliet (1992), tal fato se dá pela relação direta entre patógeno, hospedeiro e ambiente e na existência de múltiplos genes de interação complexa responsáveis pela resistência. Características morfológicas da planta que conferem menores chances de infecção, como porte alto e ausência de aristas, podem ser vistas como negativas, causando maiores chances de acamamento do colmo e ataque de insetos, respectivamente. Assim, como relatado por Bai, Zhenqi e Cai (2018), a presença de várias espécies de *Fusarium* contribuem para a ocorrência de superação da resistência genética da planta, e fatores climáticos favoráveis possuem grande influência na severidade da doença.

A resistência do tipo II, a mais explorada pelos melhoristas e pelo Programa do Dr. Van Sanford, visa a resistência contra a propagação do fungo no interior da espiga, porém não age diretamente na diminuição da produção de micotoxinas (tipo III), fator de grande preocupação na cadeia tritícola mundial. Além disso, existem obstáculos para detecção da presença da micotoxina DON, pois muitas vezes, grãos infectados podem possuir aparência sadia, impedindo uma seleção eficaz. Em resposta a esta dificuldade, o processamento das amostras para posterior quantificação do composto em laboratório, assim como é feito no Programa da UKY possui grande importância. Porém durante tal processo, existia dificuldade em manter o triturador de grãos limpo no decorrer das análises, e apesar de ser utilizado o soprador de ar, sempre haviam sobras de amostras anteriores, o que poderia estar causando contaminação de amostras e resultados falsos.

Paralelamente às características já citadas, a qualidade industrial do grão possui grande importância, pois mesmo se a nova variedade de trigo apresentar alta produtividade e alta resistência a doenças, de nada adianta seu lançamento se não puder servir de matéria prima de qualidade para os moinhos. Como mencionado por Castellari *et al.* (2023), o trigo soft vermelho de inverno produzido no Kentucky não possui boa performance para a fabricação de pães, pelo fato da menor quantidade de proteínas e baixa força de glúten presentes no mesmo, impedindo um bom crescimento da massa. Dessa forma, grande parte do trigo destinado a tal produto vem de outros Estados, tornando a matéria prima mais cara por conta do frete e impossibilitando maior agregação de valor do trigo cultivado regionalmente. Por meio da fabricação de pães e degustação, levando em conta aspectos técnicos (altura, peso, volume e densidade) e sensoriais (aroma e sabor), o programa vem selecionando variedades que apresentam melhor desempenho quanto a tais características. Ainda não foram lançadas variedades que apresentam boa performance de panificação, porém esses testes servem para a identificação de linhagens com melhor desempenho, que possuam potencial de se tornarem parentais de futuros cruzamentos, visando a obtenção de uma variedade de bons resultados na fabricação de pães.

Outro grande problema enfrentado pelo Programa é o controle de roedores. Durante o período de estágio era comum encontrar camundongos circulando pelos galpões e estufas. Muitos envelopes contendo espigas e sementes estavam danificados pelos camundongos e alguns genótipos foram descartados, pois não haviam grãos suficientes após os roedores se alimentarem dos mesmos. Tal fato, além de prejudicar a seleção de espigas e sementes, apresenta grande risco à saúde dos colaboradores, pois além da leptospirose, o animal pode transmitir outras zoonoses que são fatais aos seres humanos.

A equipe segue tentando controlar o problema e já utilizou de diversas técnicas, como o uso de inimigos naturais (gatos e corujas), ratoeiras mecânicas e adesivas, e armazenamento de sementes em congeladores para impedir o acesso dos animais. Por ser um ambiente estudantil, com grande circulação de pessoas, a Universidade proíbe o uso de iscas letais, o que dificulta ainda mais o controle. Sabe-se que o melhor método de controle é garantir a limpeza do local, mas grande parte dos colaboradores não prezavam por tal, deixando envelopes abertos e restos de espigas e sementes no chão, o que poderia estar contribuindo para a proliferação desses animais. Ao perceber tal fato, os estagiários começaram a realizar a limpeza do local diariamente, removendo do chão e das mesas restos de trigo que contribuía para tal problema. Foi observada uma redução da circulação dos camundongos nos locais após esta prática.

O programa é financiado pela *Kentucky Small Grain Growers Association* e as decisões de lançamentos das novas variedades são realizadas em conjunto com o Dr. Van Sanford, melhorista responsável. Mesmo assim, todos os royalties da venda das cultivares retornam para o Programa de Melhoramento Genético de Trigo da UKY. Dessa forma, a *Kentucky Small Grain Growers Association* não lucra diretamente com a venda das sementes lançadas, e sim com o apoio voluntário de 0,25% das vendas de trigo, aveia, centeio e cevada dos produtores do Kentucky. US\$ 4 milhões já foram destinados pela associação para o desenvolvimento de cultivares e eventos educacionais para os produtores do Estado, sendo uma das grandes responsáveis pelo incentivo à produção de tais culturas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trigo possui importância imensurável para a humanidade, por ser matéria prima de diversos produtos alimentícios que são bases da alimentação humana. Dessa forma, o melhoramento genético do cereal propiciou papel fundamental na expansão de sua área de cultivo, aumentando a produção do mesmo. Além disso, é notável o aumento da preocupação da sociedade com a preservação de áreas de vegetação nativa, o que de certa forma serve como impasse na expansão de áreas agricultáveis. Diante disso, o melhoramento genético serve como ferramenta indispensável para impulsionar o aumento da produtividade por área, por meio de variedades resistentes a doenças e adaptadas a diferentes condições climáticas.

O estágio obrigatório curricular realizado no Programa de Melhoramento Genético de Trigo na Universidade do Kentucky foi de grande proveito, pois proporcionou o entendimento de etapas importantes no processo de desenvolvimento de novas variedades de trigo. Por meio de atividades práticas a campo e em laboratório foi possível a compreensão de quão criterioso

e importante é o trabalho do melhorista de plantas. Além disso, o trabalho de melhoramento genético é algo constante, pois, ao passo em que são encontrados genes de resistência a patógenos, tais resistências também são superadas ao passar do tempo, como é o caso da Giberela.

O Estado do Kentucky é essencialmente agrário, e grande parte do avanço nessa área se deve ao êxito das atividades de extensão desenvolvidas pela *College of Agriculture, Food and Environment (CAFE)* da Universidade do Kentucky, voltadas para os agricultores locais. O Programa de Melhoramento de trigo da UKY possui grande influência no Estado, sendo responsável pela maior parte das áreas de trigo soft vermelho de inverno. Tal sucesso se deve ao excelente trabalho realizado pelo melhorista Dr. Van Sanford e ao empenho de todos os alunos de pós-graduação e estagiários que já passaram pelo grupo.

Ademais, o estágio possibilitou o contato com alunos, professores e funcionários de diferentes nacionalidades, promovendo troca de aprendizados e maior entendimento da agricultura mundial. Houve, acima de tudo, enriquecimento de habilidades interpessoais, produtivas e linguísticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALISAAC, E.; MAHLEIN, A. K. *Fusarium Head Blight on Wheat: Biology, Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management*. **Toxinas**, v. 15, p.192, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-6651/15/3/192>>. Acesso em: 10 out. 2023.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: USAID, 1971. 381 p.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Instrução Normativa - n° 160, de 1° de Julho de 2022. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_160_2022_.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ARGYRIS, J.; SANFORD, V. D.; TEKRONY, D. *Fusarium graminearum Infection during Wheat Seed Development and Its Effect on Seed Quality*. **Seed Physiology, Production & Technology**, v. 43, 2003. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2003.1782>>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- BAI, G.; ZHENQI, S.; CAI, J. *Wheat resistance to Fusarium head blight*. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 40, p. 336-346, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1476411>>. Acesso em: 08 jul. 2023.
- BALL, C. R. *The History of American Wheat Improvement*. **Agricultural History**, v. 4, n. 2, p. 48–71, 1930. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3739359>>. Acesso em: 5 jul. 2023.
- BOREM, A; MIRANDA, V.G. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. rev. e amp. Minas Gerais: UFV, 2009.
- BOTTALICO, A.; PERRONE, G. *Toxigenic Fusarium species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 08, p. 611-624. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226551583_Toxigenic_Fusarium_species_and_Mycotoxins_Associated_with_Head_Blight_in_Small-Grain_Cereals_in_Europe>. Acesso em: 11 out. 2023.
- BOYACIOGLU, D.; HETTIARACHCHY, N. S.; STACK R. W. *Effect of three systemic fungicides on deoxynivalenol (vomitoxin) production by Fusarium graminearum in wheat*. **Canadian Journal of Plant Science**, 1992. Disponível em: <<https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/cjps92-010>>. Acesso em: 11 out. 2023.
- CASTELLARI, M. P. *et al. Genetic Variation and Heritability of Sensory and Artisan Bread Traits in a Set of SRW Wheat Breeding Lines*. **Foods**, v. 12, p.2617, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods12132617>>. Acesso em: 05 jun. 2023.

DE MORI, C.; IGNACKZAC, J. C. **Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/931524>>. Acesso em: 20 out. 2022.

DEL PONTE, E. M. *et al.* Giberela do trigo: aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 6, p. 587–605, nov. 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/fb/a/WHmhpn6NbZJDn49RvBqjQ7D/#>>. Acesso em: 10 out. 2023.

ESA. *Ecological Society of America*. **Getting to know Kentucky**. Louisville, 2019. Disponível em: <<https://esa.org/louisville/about-kentucky/#:~:text=Kentucky%20borders%20seven%20states%2C%20from,to%20the%20north%20and%20northeast.>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

ENGLUND R.L. 2012. *Wheat classes, history, and breeding timelines*. In Clay, D.E., C.G. Carlson, and K. Dalsted (eds.) **iGrow Wheat: Best Management Practices for Wheat Production**. South Dakota State University, SDSU Extension, Brookings, SD. Disponível em: <https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=plant_book>. Acesso em: 01 jul. 2023.

EUA. *United States*. **Census Bureau**. EUA, 2021. Disponível em: <<https://www.census.gov/library/stories/state-by-state/kentucky-population-change-between-census-decade.html>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

FDA. *FOOD AND DRUG ADMINISTRATION'S*. **Guidance for Industry and FDA: Advisory Levels for Deoxynivalenol (DON) in Finished Wheat Products for Human Consumption and Grains and Grain By-Products used for Animal Feed**. Center for Veterinary Medicine. Rockville, MD, 2010. Disponível em: <<https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-and-fda-advisory-levels-deoxynivalenol-don-finished-wheat-products-human>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FEDERIZZI, L. C. *et al.* **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 1999. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/825361>>. Acesso em: 23 nov. 2022.

GIRALDO, P. *et al.* *Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis*. **Agronomy**, v.9, 352, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/9/7/352>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

GLOBAL DATA LAB. **Subnational HDI (v 7.0)**. *The Netherlands*, 2022. Disponível em: <<https://globaldatalab.org/shdi/maps/shdi/>>. Acesso em: 28 nov. 2022

GUARENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2 ed. Passo Fundo: Embrapa, 1996. 36 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/849741/1/CNPTDOC.2796.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2023

HERSHMAN, D. E.; JOHNSON, D. **Disease Management**. *In: A comprehensive guide to wheat management in Kentucky*. 2009. Disponível em: <<https://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/ID/ID125/ID125.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2022

IWASE C.H.T, *et al.* *Deoxynivalenol and zearalenone in Brazilian barley destined for brewing.* **Food Addit Contam Part B Surveill**, v.16, p.86-92, 2023. Disponível em: <10.1080/19393210.2022.2151046>. Acesso em: 15 out. 2023

KARATHANASIS, A. D. **Kentucky Soil Atlas.** *USDA Natural Resources and Conservation Service. University of Kentucky*, 2018. Disponível em: <https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=pss_book>. Acesso em: 11 dez. 2022

KIM, D. *et al.* *Vernalization: winter and the timing of flowering in plants.* **Annu Rev Cell Dev Biol**, v.25, 2009. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19575660/>>. Acesso em: 10 ago. 2023

LEE, C.; HERBECK, J.; TRIMBLE, L. R. **A comprehensive guide to wheat management in Kentucky.** *University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment Cooperative Extension Service*, 2009. 72 p. Disponível em: <<https://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/ID/ID125/ID125.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2022

MA, H. *et al.* *Exploring and applying genes to enhance the resistance to Fusarium head blight in wheat.* **Front Plant Sci**, v. 13, 2022. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9647131/#B6>>. Acesso em: 25 out. 2023

MILEC, Z. *et al.* *Contemplation on wheat vernalization.* **Plant Development and EvoDevo**, v. 13, 2022. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.1093792/full>>. Acesso em: 05 jul. 2023

PARLEVLIET, J. E. *Selecting components of partial resistance.* In: Stalker, H. T.; MURPHY, J.P. *Plant breeding in the 1990's.* Wallingford: CAB International, 1992. p. 281-302. Disponível em: <<https://research.wur.nl/en/publications/selecting-components-of-partial-resistance>>. Acesso em: 04 ago. 2023

PENNINGTON, D.; COSTA, R. **Fall wheat emergence and the vernalization process.** *Michigan State University*, 2020. Disponível em: <<https://www.canr.msu.edu/news/fall-wheat-emergence-and-the-vernalization-process>>. Acesso em: 04 jul. 2023

PRADO, G. Contaminação de alimentos por micotoxinas no Brasil e no mundo. **Gerais:** *Revista de Saúde Pública do SUS-MG*, v. 2, n. 2, p. 13-26, 2017. Disponível em: <<http://revistageraisaude.mg.gov.br/index.php/gerais41/article/view/298>>. Acesso em: 10 out. 2023

PSS. *Department Of Plant And Soil Sciences.* **Department News.** 2022. Disponível em: <<http://pss.ca.uky.edu/front>>. Acesso em: 30 out. 2022.

RUTKOSKI, J. E. *et al.* **Wheat Improvement Food Security in a Changing Climate.** *Springer Cham*, 2022. 69-83 p. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-90673-3>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SARE. *Sustainable Agriculture Research and Education. Winter Wheat (Triticum aestivum). Managing Cover Crops Profitably, 3rd Edition. 2007.244 pages.* Disponível em: <https://www.sare.org/publications/managing-cover-crops-profitably/nonlegume-cover-crops/winter-wheat/#:~:text=Winter%20wheat%20can%20serve%20as,N%20relatively%20slowly%20in%20autumn.> Acesso em: 12 nov. 2023.

SHARMA, N. *et al. The molecular mechanism of vernalization in Arabidopsis and cereals: role of Flowering Locus C and its homologs. Physiol Plantarum*, v. 170, p. 373-383, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ppl.13163>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

UK. *University of Kentucky. Kentucky, 2022.* Disponível em: <<https://hr.uky.edu/employment/working-uk/our-university>>. Acesso em: 17 out. 2022.

UK CAFE. *University of Kentucky (UK); College of Agriculture, Food and Environment (CAFE). About uk cafe. Kentucky, 2022.* Disponível em: <<https://administration.ca.uky.edu/uk-cafe>>. Acesso em: 17 out. 2022.

US WHEAT ASSOCIATES. **Working With BuyersWheat Classes.** EUA, 2023. Disponível em: <<https://www.uswheat.org/working-with-buyers/wheat-classes/>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

USDA. *United States Department of Agriculture. State Agriculture Overview. Kentucky, 2022.* Disponível em: <https://www.nass.usda.gov/Quick_Stats/Ag_Overview/stateOverview.php?state=KENTUCKY.>. Acesso em: 10 out. 2023.

USDA. *United States Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service. Principal Crops Area Planted – States and United States: 2021-2023.* EUA, 2023. Disponível em: <<https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/j098zb09z/hh63v8465/zg64w269x/acrg0623.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2023.

VISITLEX. **Horse Capital Of The World About Lexington.** *Kentucky, 2022.* Disponível em: <<https://www.visitlex.com/about>>. Acesso em: 29 out. 2022.

WATERS. *Waters Corporation. Como funciona a cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC, High Performance Liquid Chromatography)?.* Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.waters.com/nextgen/br/pt/education/primers/beginner-s-guide-to-liquid-chromatography/how-does-high-performance-liquid-chromatography-work.html>>. Acesso em: 16 out. 2023.

WEGULO, S. N. *et al. Fusarium Head Blight of Wheat. University of Nebraska, 2008.* Disponível em: <<https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec1896.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2023.

WIKIPÉDIA. **Kentucky.** Disponível em: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Kentucky>>. Acesso em: 29 out. 2023.

APÊNDICE A - Participação no *American Society of Agronomy, Crop Science and Soil Science Annual Meeting*.



APÊNDICE B - Participação no dia de campo do Grupo de Melhoramento Genético de Tabaco.



APÊNDICE C - Realização de coletas de solo.