



**JÉSSICA FERNANDES MENDES**

**POTENCIAL DO TRIGO BIOFORTIFICADO COM ENXOFRE  
E NITROGÊNIO**

**LAVRAS - MG**

**2019**

**JÉSSICA FERNANDES MENDES**

**POTENCIAL DO TRIGO BIOFORTIFICADO COM ENXOFRE E NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Joelma Pereira

**LAVRAS - MG**

**2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Mendes, Jéssica Fernandes.

Potencial do trigo biofortificado com enxofre e nitrogênio /  
Jéssica Fernandes Mendes. - 2019.

58 p. : il.

Orientador(a): Joelma Pereira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Cereal. 2. Semolina. 3. Glúten. I. Pereira, Joelma. II. Título.

**JÉSSICA FERNANDES MENDES**

**POTENCIAL DO TRIGO BIOFORTIFICADO COM ENXOFRE E NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2019.

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé      EPAMIG

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho      UFLA

Dra. Joelma Pereira

Orientadora

**LAVRAS- MG**

**2019**

A Deus por me dar forças para chegar até o fim.

Aos meus pais, minha irmã e sobrinha pelo amor, carinho e apoio incondicional.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por guiar os meus passos e me conceder forças e discernimento para sempre seguir em frente e conquistar os meus objetivos.

A Nossa Senhora Aparecida e Maria Santíssima pela intercessão, proteção e amparo em todos os momentos da minha vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de estudar em uma instituição renomada, a qual me proporcionou muito aprendizado ao longo do mestrado.

A empresa Agrichem do Brasil, pela doação do material experimental.

Ao Moinho Sul Mineiro, em especial à Mirela e à equipe do Laboratório de Controle de Qualidade, pela ajuda concedida nas análises da pesquisa e disponibilidade na utilização dos equipamentos.

A Embrapa Trigo de Passo Fundo - RS em especial, à pesquisadora Dra. Martha Zavariz de Miranda pela valiosa ajuda e disponibilidade em colaborar com o projeto.

Aos professores do Departamento de Ciência dos Alimentos, pelos ensinamentos e disponibilidade em estar sempre dispostos a ajudar.

À professora Dra. Joelma Pereira pela orientação, paciência, ensinamentos transmitidos e por contribuir para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos funcionários do DCA, pela atenção e auxílio concedidos para a concretização desse trabalho.

Ao Laboratório de Grãos Raízes e Tubérculos (LGC), e aos membros do grupo NEAPAN pela convivência, principalmente à Adriana e Jayanne pela valorosa ajuda na pesquisa e pela amizade.

Aos meus pais Geraldo e Neide pelo amor incondicional, carinho, orações e empenho para que essa realização se concretizasse.

A minha irmã Geisa e sobrinha Manuela pelo amor e carinho.

Aos amigos de Montes Claros e Lavras, pelo incentivo, amizade e carinho. Em especial as amigas Thaw, Clara e Helo, por estarem sempre presentes.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente nessa importante fase da minha vida para alcançar o objetivo de me tornar Mestre em Ciência dos Alimentos.

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes”. (Cora Coralina)

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi verificar se os nutrientes enxofre e nitrogênio aplicados no processo de biofortificação agrônômica no trigo contribuem para maior formação de proteínas e aminoácidos sulfurados, aumentando, conseqüentemente a força da farinha de trigo semolina e sua capacidade de formar glúten. As análises químicas, reológicas e enzimáticas das farinhas de trigo semolina, foram realizadas e submetidas à análise de variância (ANAVA). Com relação à cor não houve diferença entre as amostras que se apresentaram claras, conforme a preferência do consumidor. A média dos valores de proteína apresentou-se adequada para ambos os tratamentos que não variaram estatisticamente entre si ( $p \geq 0,05$ ), com teor médio de  $11,33\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . O glúten úmido e seco também não apresentaram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ), entre as amostras, com os resultados médios de  $27,71\text{g } 100\text{g}^{-1}$  para o glúten úmido e de  $10,69\text{g } 100\text{g}^{-1}$  para o glúten seco, indicando que as farinhas são panificáveis. A amostra testemunha apresentou maior quantidade de aminoácidos sulfurados, em comparação com a amostra biofortificada. Na alveografia as amostras também tiveram diferenças em relação aos itens de força (W) que variaram de 315,82 para a farinha testemunha a 365,85 J para a farinha de trigo semolina biofortificada e a relação tenacidade/extensibilidade (P/L) foi de 2,46 para a farinha testemunha e de 1,82 para a farinha de trigo semolina biofortificada, indicando que a farinha testemunha é mais elástica do que a farinha de trigo semolina biofortificada. Esses valores indicam que as farinhas semolina podem ser usadas na produção de pastas alimentícias. Dentre as características de qualidade medidas por meio da farinografia, os quesitos de tempo de queda (TQ) e valor do valorímetro (VV), foram menores para a amostra biofortificada, isso indica que essa enfraquece mais rápido ao longo do processo de mistura. A atividade enzimática das farinhas semolina apresentou diferença entre si, o resultado obtido favoreceu os atributos de volume, miolo firme e os aspectos gerais dos pães. As farinhas de trigo semolina são classificadas em trigo melhorador, sendo aptas para a fabricação de massas alimentícias, biscoito tipo crackers e pães industriais. Apesar de o trigo ser classificado como melhorador, com o tratamento não foi possível verificar se houve aumento no teor de proteína e aminoácidos sulfurados. Sendo assim, é necessária a realização de novos trabalhos com dosagens adequadas, para verificar se a biofortificação altera a quantidade de proteínas, bem como dos aminoácidos sulfurados.

**Palavras-chave:** Cereal. Semolina. Glúten. Aminoácidos sulfurados. Segurança alimentar.

## ABSTRACT

The objective of this work was to verify whether the nutrients sulfur and nitrogen applied in the process of agronomic biofortification in wheat contribute to greater formation of proteins and sulphated amino acids, thus increasing the strength of the flour semolina wheat and its ability to form gluten. The chemical, rheological and enzymatic analyses of the semolina wheat flours were performed and subjected to analysis of variance (ANAVA). In relation to the color, there was no difference between the samples that were clear, according to the consumer preference. The mean protein values were adequate for both treatments that did not vary statistically ( $p \geq 0.05$ ), with an average content of  $11,33\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . The wet and dry gluten also did not present significant differences ( $P \geq 0.05$ ), among the samples, with the average results of  $27,71\text{g } 100\text{g}^{-1}$  for the wet gluten and  $10,69\text{g } 100\text{g}^{-1}$  for the dry gluten, indicating that the flours are bakery. The control sample showed a higher quantity of sulfurate amino acids compared to the biofortified sample. In the alveography The samples also had differences in relation to the force items (W) that ranged from 315,82 to the flour control to 365,85 J for the biofortified semolina wheat flour and the tenacity/extensibility ratio (P/L) was 2,46 for the flour control and 1,82 for the biofortified semolina wheat flour, indicating that the control flour is more elastic than the biofortified semolina wheat flour. These values indicate that semolina flours can be used in the production of food pastes. Among the quality characteristics measured by means of farinography, the requirements of fall time (TQ) and value of the valuemeter (VV) were lower for the biofortified sample, this indicates that this weakens faster during the mixing process. The enzymatic activity of the semolina flours showed differences among themselves, the obtained result favored the attributes of volume, firm core and the general aspects of the breads. The semolina wheat flours are classified into wheat impromator, being able for the manufacture of pasta, biscuit type crackers and industrial breads. Although wheat was classified as a enhancer, with the treatment it was not possible to verify whether there was an increase in protein content and sulfurate amino acids. thus, it is necessary to perform new studies with appropriate dosages, to verify if the biofortification alters the amount of proteins, as well as of the sulfurate amino acids.

Key-words: Cereal. Semolina. Gluten. sulphated Amino acids. Food security.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do grão de trigo.....	188
Figura 2: Produção de trigo na safra de 2017.....	244
Figura 3: Formação reversível de uma ligação dissulfeto.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4: Formação da rede de glúten. ....	27
Figura 5: Moinho experimental. ....	35
Figura 6: Etapas da análise no equipamento falling number. ....	39
Figura 7: Característica dos pães em diferentes resultados do número de queda.....	45

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Requisitos de qualidade da farinha de trigo para o pão de forma, biscoitos e pastas alimentícias.....	44
Quadro 2: Classificação da qualidade da farinha segundo a interpretação de Tempo de desenvolvimento da massa; Estabilidade e Índice de tolerância a mistura.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado das análises de proteína, aminoácidos sulfurados, glúten, cor e alveografia, número de queda e farinografia .....	41
Tabela 2: Classificação do trigo no Grupo II destinado à moagem e outras finalidades.....	47
Tabela 3: Valores médios das amostras em relação à força do glúten e número de queda.....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Porcentagem da farinha na fabricação de vários produtos.	233
Gráfico 2: Projeções na produção e consumo de trigo no Brasil até 2022 (mil toneladas).	255
Gráfico 3: Estimativa de produção, consumo e importação de trigo no Brasil.	255

## LISTA DE SIGLAS

AACC	American Association of Cereal Chemists
ABIMAP	Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados
ABITRIGO	Associação Brasileira da Indústria do Trigo
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FN	Falling number
FTSB	Farinha de trigo semolina biofortificada
FTST	Farinha de trigo semolina testemunha
GS	Glúten Seco
GU	Glúten Úmido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto de Geociência
ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
N	Nitrogênio
S	Enxofre
SMA	Sul Mineiro Alimentos
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
UE	União Européia
W	Força do glúten

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Características do trigo e da farinha .....	17
2.2 Importância do trigo para o setor econômico brasileiro .....	20
2.3 Uso do trigo na indústria de panificação .....	22
2.4 Produção de trigo no Brasil e no mundo .....	24
2.5 Formação e constituição da rede protéica.....	26
2.6 Biofortificação agronômica .....	29
2.7 Nitrogênio e enxofre.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.2 Obtenção dos grãos de trigo .....	34
3.2.1 Obtenção das farinhas de trigo semolina .....	34
3.2.1.1 Rendimento das farinhas de trigo semolina .....	35
3.3 Condução do experimento .....	35
3.4 Análises realizadas nas farinhas de trigo semolina .....	36
3.4.1 Análise da cor .....	36
3.4.2 Proteína.....	36
3.4.3 Teor de glúten úmido e seco .....	36
3.4.4 Teor de aminoácidos sulfurados.....	37
3.4.5 Alveografia .....	38
3.4.6 Farinografia.....	38
3.4.7 Número de queda .....	38
3.4.8 Classificação das farinhas de trigo semolina .....	40

3.4.9 Análise estatística.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Classificação das farinhas.....	47
5 CONCLUSÃO.....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Os principais cereais como trigo, aveia, arroz, milho, sorgo, cevada, centeio, triticale e milheto apresentam grande importância na alimentação humana, pois são fontes de carboidratos e outros nutrientes.

O trigo está dentre os cereais mais consumidos mundialmente. No Brasil é uma das matérias-primas de maior destaque devido à grande movimentação econômica, o consumo e a sua aplicação na fabricação de diversos produtos panificáveis, bem como nos demais segmentos das indústrias alimentícias que também têm o trigo como coadjuvante. O trigo tem a particularidade que nenhum outro cereal possui que é a viscoelasticidade. Propriedade essa, que confere as características desejáveis aos produtos de panificação e de massas alimentícias, como a textura, volume, dentre outros atributos relevantes do ponto de vista tecnológico e sensorial.

O trigo é uma gramínea, cultivado nas estações de inverno e primavera. A planta apresenta tamanho que varia de 20 cm a aproximadamente 2 m de altura. Espigas com comprimento extenso se desenvolvem, com espiguetas pequenas onde ficam os frutos (GEO, 2014). Apresenta vasta importância nas dietas. Aproximadamente 30% da população mundial, alimentam-se de produtos oriundos dessa cultura (SOUZA, 2013).

As características peculiares que fazem do trigo um cereal de destaque, está relacionado ao glúten. O mesmo é um composto protéico, formado pelas proteínas insolúveis gliadina e glutenina, que conferem à massa extensibilidade e elasticidade, atributos esses imprescindíveis na panificação. A formação ocorre quando é adicionada água a farinha de trigo e é aplicado adequado trabalho mecânico, propiciando assim o desenvolvimento da rede de glúten e resultando em uma massa viscoelástica.

A farinha é a principal forma de utilização do trigo, a qual é obtida por meio da moagem dos grãos. Essa está inserida no cotidiano dos brasileiros desde o pão consumido normalmente no café da manhã, nos diversos tipos de massas alimentícias, até mesmo nos alimentos que nem pensamos que tenham a farinha na sua composição. São usadas desde o preparo caseiro de alimentos, até em escalas industriais.

De acordo com a Tabela de Composição de Alimentos (TACO, 2011) a farinha de trigo apresenta vários micronutrientes e vitaminas na sua composição, os quais contribuem para o valor nutricional dos produtos desenvolvidos a base dessa matéria-prima. A

biofortificação em produtos agrícolas favorece maiores teores de minerais e vitaminas, complementam os valores nutricionais dos alimentos além de ser uma alternativa sustentável (DE CARVALHO; NUTTI, 2012).

A utilização de elementos como nitrogênio (N) e enxofre (S), aplicados por meio de técnicas adequadas durante o plantio, auxiliam na obtenção de alimentos com teores maiores de nutrientes. O N disponível em quantidades necessárias à planta é um fator básico determinante da produtividade potencial da cultura do trigo. O mesmo apresenta importantes funções, pois esse nutriente é encontrado em altas concentrações nos tecidos vegetativos bem como nos grãos, sendo requerido em grandes quantidades pela planta do trigo (BONA et al., 2016). Esse é muito importante na produção das proteínas, fazendo parte da constituição das mesmas, quanto mais N tiver o trigo, maiores serão as chances de maiores valores protéicos.

O S em quantidades ideais no solo favorece o desenvolvimento da lavoura de trigo, uma vez que a disponibilidade correta desse elemento eleva a eficiência de uso do N, além de aumentar a qualidade tecnológica do grão de trigo, promovendo assim maior valor comercial ao produto resultante (BYER; FRANKLIN; SMITH, 1987). Essa melhora na qualidade está relacionada aos aminoácidos sulfurados metionina, cisteína e cistina os quais apresentam ligações dissulfídicas entre as moléculas. Durante o processo de formação da rede de glúten, essas ligações de enxofre interagem e se fortalecem, promovendo a formação de glúten mais forte.

As proteínas do glúten, gliadina e glutenina, têm a sua biossíntese ligada ao S, visto que são constituídas por aminoácidos: cistina, cisteína e metionina, os quais apresentam ligações dissulfídicas intermoleculares e intramoleculares, possuem também grupos sulfidrilas livres, na formação da rede de glúten (WIESER, 2007). Dessa forma, plantas de trigo com menores teores de S, produzem farinhas com poucas ligações dissulfídicas, favorecendo a formação de glúten fraco (BONA et al., 2016).

Os teores de minerais com N e S podem ser aumentados nos grãos de trigo e outros vegetais por meio da biofortificação. Esta pode ser genética ou agronômica. Na biofortificação genética, por meio do melhoramento genético no vegetal pode ocorrer ou não maiores quantidades de micro e, ou macronutriente e vitaminas essenciais, sem modificar o desempenho agrônomico (PASCOALINO, et al., 2016). Na biofortificação agronômica, fertilizantes são aplicados às plantas no plantio e, ou durante o desenvolvimento. Essa adubação é aplicada diretamente no solo ou por via foliar ou nas duas formas (WELCH, 2008).

O glúten fraco é indicado para a fabricação de bolos e biscoitos (ou bolachas), o glúten médio é indicado para a produção de biscoitos tipo cracker e pizza. Farinhas com ligações fortes do glúten são próprias para a fabricação de pão e farinhas com glúten com ligações muito fortes são utilizadas para a produção de massas alimentícias. No Brasil este último tipo de farinha é mais valorizado devido ao fato do país não possuir clima adequado para sua produção, havendo necessidade de importação deste tipo de trigo.

Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de verificar se os nutrientes S e N aplicados no processo de biofortificação agrônômica no trigo contribuem para maior formação de proteínas e aminoácidos sulfurados, aumentando, conseqüentemente a força da farinha de trigo e sua capacidade de formar glúten.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

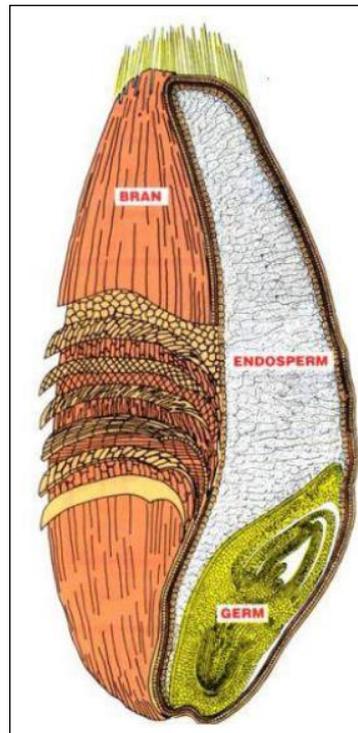
### **2.1 Características do trigo e da farinha**

O trigo pertence à família das gramíneas e ao gênero *Triticum*. As principais espécies de cultivo são *Triticum compactum*, *Triticum durum* e *Triticum aestivum*. Está entre uma das plantas mais cultivadas em todo o mundo. Essas espécies apresentam destaque, devido a sua utilização industrial, as quais possuem maior volume do trigo cultivado, representando valores acima de 90%. O *Triticum aestivum*, também conhecido como trigo comum é a espécie de maior cultivo, apresenta teor de proteína próximo a 15% é o mais usado na fabricação de pães. O *Triticum compactum*, é usado para a fabricação de biscoitos e bolos mais macios e menos crocantes, possui baixo teor protéico cerca de 8% de proteínas, devido a essa característica a farinha é fraca, e conseqüentemente apresenta baixo teor de glúten. Já o *Triticum durum* é indicado para massas, a farinha proveniente desse trigo é mais forte bem como o glúten, por apresentar alto teor de proteínas, possibilitando textura mais resistente após o cozimento (ABITRIGO, 2018; PEREIRA, 2006).

O grão de trigo tem o formato oval, e é dividido basicamente em três partes como é ilustrado na Figura 1. O pericarpo é a parte mais externa, ou seja, a camada que reveste toda a semente e representa 5% do peso do grão, é composto por seis camadas sendo elas: epiderme, hipoderme, células finas; intermediárias; cruzadas e tubulares. Além de possuir grande quantidade de pentosanas, celulose e cinzas. A camada de aleurona divide o pericarpo do endosperma, correspondendo de 80% a 83% do grão, tendo na sua composição o amido e proteínas, principalmente. E o germe 3% do peso do grão, essa parte é rica em proteínas,

lipídios, açúcares redutores, cinzas, enzimas e vitaminas. O grão desse cereal apresenta composição média de 11% - 13% de umidade; 10% - 15% de proteínas; 69% - 70% de carboidratos; 0,5% - 2% de gordura e 1,6% - 2% de cinzas (BRANDÃO; LIRA, 2011).

Figura 1: Estrutura do grão de trigo.



Fonte: Kansas State University, 1960 “in Kansas University, Department of Grain Science and Industry Shellenberg Hall Manhattan, Kansas. Jul., 1974”.

O endosperma é constituído em sua maioria de amido e proteína. Os maiores constituintes do amido são a amilose e amilopectina na proporção de 1:3. O germe de trigo equivale à planta de trigo na etapa embrionária e a maior parte dos lipídios e vários dos nutrientes fundamentais para o grão está acumulada nessa parte (TONON, 2010).

De acordo com a Resolução nº14 de 21 de Fevereiro de 2000 estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) entende-se por sêmola ou semolina de trigo, o produto obtido a partir da espécie *Triticum aestivum* ou de outras espécies do gênero *Triticum* reconhecidas (exceto *Triticum durum*), através de processo de moagem do grão de trigo beneficiado, e a denominação de sêmola ou semolina de trigo durum, é o produto obtido a partir de *Triticum durum* Desf., através do processo de moagem do grão beneficiado. O termo semolina também está relacionado da região que é retirada a farinha do grão de trigo,

que nesse caso é removida da parte mais interna do endosperma o qual fica localizado no centro do grão (BRASIL, 2010).

Foi estabelecida pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, a Instrução Normativa nº 38 de 30 de Novembro de 2010 (BRASIL, 2010) a qual determina o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Trigo, o grão é classificado em cinco classes (melhorador, pão, doméstico, básico e outros usos) determinadas de acordo com as análises de alveografia (força de glúten), estabilidade (farinografia) e número de queda (falling number), e também em três tipos (1, 2 e 3) de acordo com os limites máximos de tolerância de matérias estranhas e impurezas, grãos danificados por insetos, pelo calor, mofados e ardidos, chochos, triguilhos e quebrados.

A qualidade do grão de trigo pode ser determinada como a consequência da interação da cultura com sua forma de cultivo no campo, devido às condições do solo, clima, da ocorrência de pragas e doenças, do manejo da cultura, bem como do tipo de cultivar plantada. Outros fatores que interferem são o processo de colheita, secagem, armazenamento e a moagem (GUTKOSKI et al., 2002).

Além disso, critérios como a quantidade e qualidade da proteína, a umidade, a acidez, cinzas, o teor de glúten e a sua força, a absorção de água, elasticidade e extensibilidade da massa, quantidade e atividade da enzima alfa-amilase, e capacidade de mistura também estão relacionados com a qualidade (GERMANI, 2003). A avaliação reológica da farinha, a qual determina as características viscoelásticas da massa, é de suma importância para a indústria de panificação, possibilitando predizer a sua utilização final. As propriedades reológicas da farinha baseiam-se da quantidade e qualidade das proteínas que contém no grão de trigo (GUTKOSKI et al., 2002).

A cor da farinha de trigo é um atributo muito observado pelos consumidores, os quais têm preferência pela farinha mais branca. Esse parâmetro é uma característica sensorial importante, a Instrução Normativa nº 38 (BRASIL, 2010), determina que a cor seja branca, com leves tons de amarelo, marrom ou cinza, conforme o trigo de origem.

O termo “qualidade da farinha” é determinado pela capacidade de fabricar de maneira uniforme um produto, atraente com valor competitivo, posteriormente aos requisitos estabelecidos pelas unidades fabricantes dos produtos finais. A força da farinha, forte ou fraca, tem sido associada com a sua qualidade. Outro aspecto correlacionado a qualidade, é o grau de extração, as farinhas brancas encontradas no mercado possuem aproximadamente 78% de grau de extração, e a farinha integral grau de extração de 100%, pois não é removido o farelo. Farinhas com elevado grau de extração apresentam teores maiores de vitaminas e

minerais, os quais estão localizados, especialmente, nas camadas periféricas dos grãos, as mesmas também contêm altos teores de fibras, entretanto, também tem mais ácido fítico, elemento que reduz a absorção de cálcio e ferro pelo organismo. Tecnicamente, farinhas com essas características são classificadas como inferiores, pois apresentam coloração escura e as fibras desestruturam a rede protéica da massa de pão, proporcionando produtos mais densos. A farinha, quando é removida da parte interna do endosperma, menor grau de extração, terá maior quantidade de proteínas formadoras do glúten, favorecendo maior qualidade tecnológica. Além disso, em virtude da baixa contaminação com o farelo, a cor da farinha é mais clara, atributo de preferência dos consumidores (PEREIRA, 2006).

## **2.2 Importância do trigo para o setor econômico brasileiro**

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (ABIMAP, 2017) as vendas em bilhões desses produtos no mercado nacional, apresentaram crescimento significativo, em relação a todos os produtos, por exemplo, em relação às vendas dos pães e bolos o crescimento foi de 4,55 para 6,45 no período dos anos de 2013 a 2016, entretanto no ano de 2017 as vendas apresentaram uma leve redução em todos os produtos. O comércio internacional tanto em relação à exportação quanto a importação dos produtos de panificação, apresentaram variações entre os anos de 2013 a 2017. Porém no ano de 2017 a importação apresentou um crescimento de quase 5 vezes a mais que o ano anterior.

De acordo com a United States Department of Agriculture (USDA, 2017), o consumo mundial de trigo em milhões de toneladas no período de 2015 a novembro de 2017 foi de 711,87 a 740,05. O Brasil representou desse total, nesse mesmo intervalo, os valores de 11,1 a 12,1 milhões de toneladas.

O consumo “per capita” (kg/ano), nacional em quilogramas de farinha de trigo apresentou crescimento em relação ao ano de 2015 para 2016, correspondendo a 6,23% de aumento (ABITRIGO; MDIC; IBGE, 2017).

O Brasil não possui grãos de trigo com características de glúten específicas para uso na indústria de panificação e de pastificio em quantidade suficientes. Por isso, o país necessita importar essa “commodity”.

A importação de trigo pelo Brasil na safra 2017/2018, deve apresentar alta de 11% em 2019 em comparação com o ciclo anterior. Esse valor deve corresponder a cinco milhões de

toneladas. Segundo o presidente da Associação Brasileira da Indústria do Trigo- ABITRIGO, Marcelo Vosnika, existem dois fatores para que as importações neste ciclo ultrapassem as 4,5 milhões de toneladas importadas na safra anterior, sendo que desse valor 3,4 milhões de toneladas são da Argentina. A primeira razão é que o Estado do Paraná, o qual é responsável pela metade da produção brasileira, apresentou redução na safra 2016/2017 com relação à safra anterior. A área plantada teve redução de 12% em comparação com o ciclo anterior. A produção de trigo teve a perspectiva de produzir 2,5 milhões de toneladas, 26% menor que o ciclo passado. Este ciclo terá queda de 14% na produtividade da lavoura, em virtude de uma geadas no norte do Estado. O segundo fator é a expectativa da Argentina, principal abastecedor de trigo no país, produzir no ano safra seguinte recorde de 18,5 milhões de toneladas (CAETANO, 2017).

De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2018), os maiores gastos com importação têm diminuído as compras de trigo no mercado internacional e aumentado a liquidez nacional, do primeiro para o segundo mês, o volume importado reduziu 37%, totalizando 420,47 mil toneladas em fevereiro. Conforme pesquisadores do Cepea, essa conjuntura, que está ligada ao período de entressafra no Brasil e na Argentina, já tem influenciado na elevação dos preços internos do trigo.

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) na sua estimativa inicial para a safra brasileira de trigo 2018/19, presumiu um crescimento de 9,2% na produção do Brasil. Segundo essa associação, o trigo de inverno colhido neste período deverá atingir um somatório de 4,66 milhões de toneladas. De acordo com o órgão governamental, esse crescimento deve acontecer exclusivamente com a expansão da produtividade (ABITRIGO, 2018).

Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2018), a demanda mundial por trigo é um indício para o Brasil. Na perspectiva do analista Luiz Fernando Pacheco, a procura contínua por trigo deve significar como um prenúncio para que o Brasil invista nessa cultura tendo em vista a exportação. O profissional até mesmo, recomenda que o país tenha um planejamento de prazo extenso nesse segmento. A ampliação do investimento na produção desse cereal é de extrema relevância tanto no âmbito nacional, quanto internacional, por ser um dos alimentos mais consumidos no mundo. Também é considerado como alimento básico na dieta do brasileiro, e de grande utilidade nas indústrias de panificação, bem como de modo geral nos demais seguimentos alimentícios.

Os problemas climáticos que as lavouras da região Sul do Brasil enfrentaram no ano de 2017, levarão o setor a comprar mais de sete milhões de toneladas em 2018, podendo

representar a maior quantidade importada desde 2013. Os produtores da União Européia (UE) aumentarão o plantio de trigo até 2030, a Comissão Européia estabeleceu que as sementes de trigo branco, o qual é apto para produção de bolos e biscoitos, aumentarão dos 23,6 milhões de hectares em 2017 para 24,8 milhões em 2030. A atuação da UE nas exportações mundiais crescerá de 17% neste período para percentuais acima de 19% em 2030 (ABITRIGO, 2018).

### **2.3 Uso do trigo na indústria de panificação**

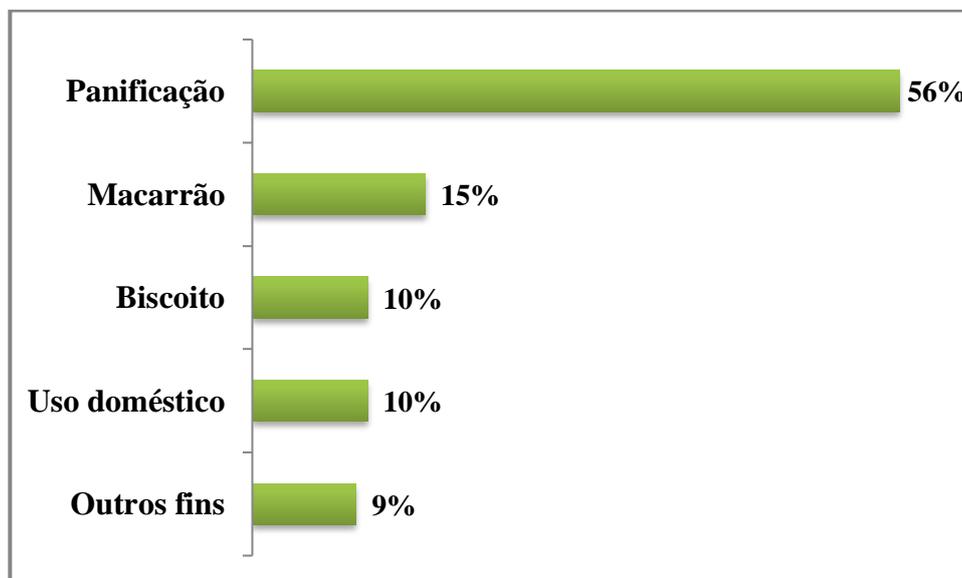
O trigo é uma das mais importantes matérias-primas alimentícias no Brasil, pela quantidade ingerida, devido aos rendimentos financeiros inclusos e aos inúmeros produtos industrializados, produzidos a partir desse cereal. A utilização do trigo como alimento, reside na sua transformação em farinha sendo este o principal ingrediente empregado nas indústrias de panificação (MADEIRA, 2014).

Segundo a Instrução Normativa de 8/2005, estabelecida pelo MAPA a farinha de trigo é o produto elaborado com grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) ou outras espécies de trigo do gênero *Triticum*, ou combinações por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos (BRASIL, 2005). A farinha de trigo deve ser fabricada a partir de grãos de trigo sãos e limpos, isentos de matéria terrosa e em perfeito estado de conservação. Não pode estar úmida, fermentada, nem rançosa. O produto é designado, simplesmente, por "farinha" ou "farinha de trigo" (ANVISA, 2010).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005, que aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos, define alguns produtos oriundos a partir da farinha. De acordo com a resolução as massas alimentícias são produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou outras espécies do gênero *Triticum*) e ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação. Os pães são os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos. E os biscoitos ou bolachas são os produtos obtidos pela mistura de farinha(s), amido(s) e ou fécula(s) como outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005).

Segundo a Abitrito (2016) 56% das farinhas de trigo são destinadas para o uso no setor de panificação, na fabricação de diversos produtos, os quais apresentam grande consumo no cotidiano, como é apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Porcentagem da utilização da farinha de trigo, na fabricação de diversos produtos.



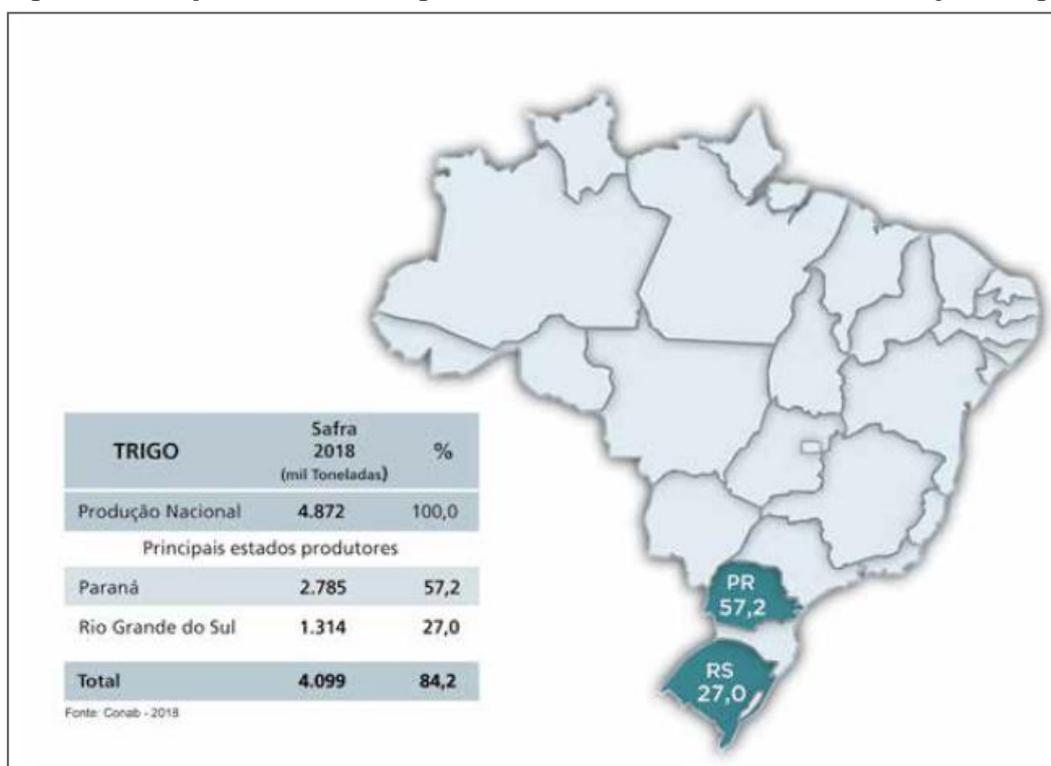
Fonte: Abitrito, 2016.

A utilização da farinha de trigo na produção de pães em escala comercial apresenta maior utilização. Logo, as cultivares desenvolvidas devem apresentar capacidade de extração de farinha de trigo, que proporcione ao produto resultante as características de desenvolvimento, textura, sabor, e coloração desejáveis, bem como favorecer no processo mecânico de preparo (MITTELMANN et al., 2000).

## 2.4 Produção de trigo no Brasil e no mundo

No Brasil, o trigo é uma cultura de inverno, e é cultivado em grande parte na região Sul (ORO, 2013), sendo o Paraná e Rio Grande do Sul os principais produtores. O primeiro estado estimava produzir na safra 2018, 57,2% da produção brasileira e o segundo 27,0%. Ambos os estados, juntamente com São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina correspondem a 97,3% da produção nacional. Conforme a Figura 2, do total da safra de 2018, que correspondeu a 4.872 mil toneladas, os estados do sul do Brasil mencionados anteriormente, representou 4.099 mil toneladas desse valor. Juntos são responsáveis por 84,2% da produção nacional (MAPA, 2018).

Figura 2: Produção brasileira de trigo na safra de 2018, em mil toneladas e em percentagem.



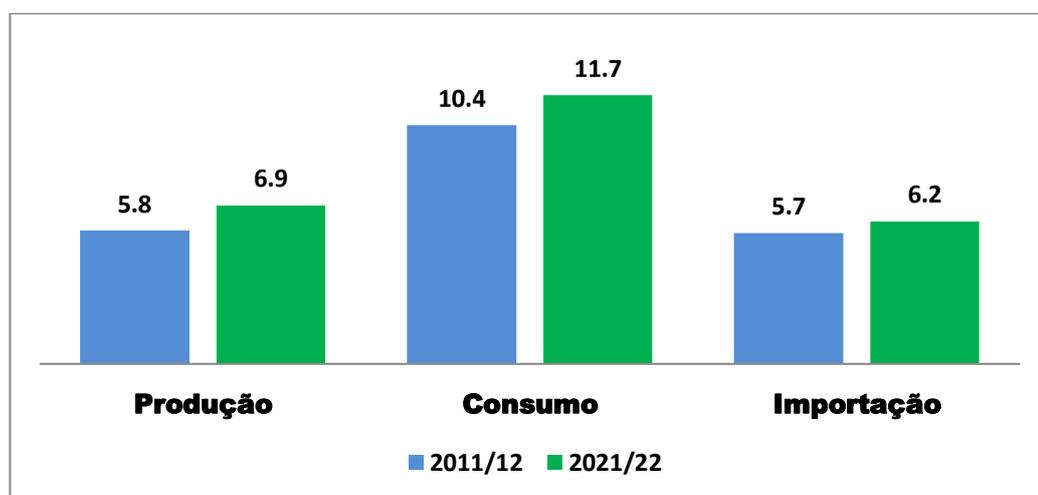
Fonte: Conab – Levantamento maio de 2018.

No Estado de Minas Gerais, a safra 2016/17, foi estimada em 300 mil toneladas, aproximadamente 30% a mais que no ano anterior. A perspectiva é chegar a 500 mil toneladas, nos próximos cinco anos (ABITRIGO, 2016).

A produção de trigo planejada para 2021/2022 corresponde a 6,9 milhões de toneladas, e um consumo de 11,7 milhões de toneladas para o mesmo período, conforme o Gráfico 2. O

consumo interno no Brasil deverá aumentar em média 1,2% ao ano, até 2021/2022. O fornecimento interno demandará importações de 6,2 milhões de toneladas em 2021/2022. Por mais que a produção de trigo cresça nos próximos anos em ritmo de 1,9% ao ano, superior, portanto ao consumo, ainda assim o país deve permanecer entre um dos maiores importadores do mundo. As importações desse cereal podem reduzir nos anos seguintes, devido ao crescimento esperado na produção interna. De acordo com técnicos da CONAB, o Brasil tem capacidade para ampliar a produção, e o trigo produzido tem sido de excelente qualidade (MAPA, 2012).

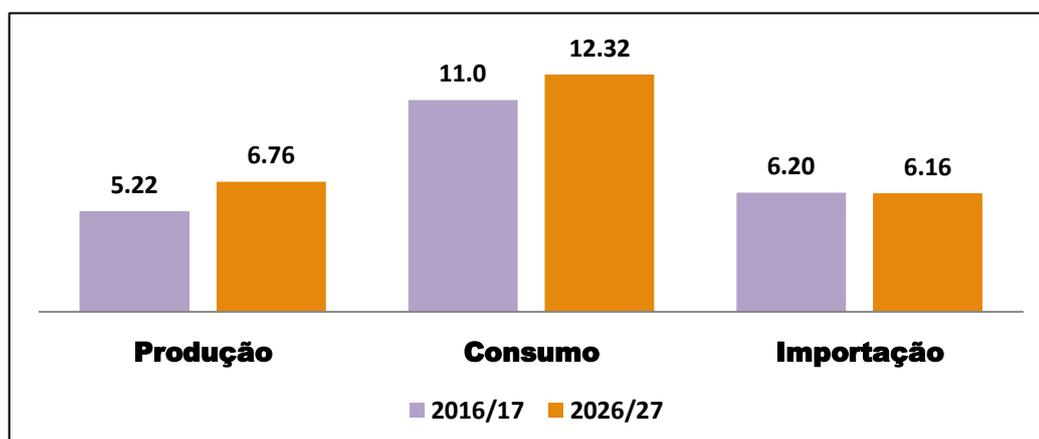
Gráfico 2: Projeções na produção e consumo de trigo no Brasil até 2022 (mil toneladas).



Fonte: Brasil Projeções do Agronegócio: AGE/Mapa e SGE/Embrapa.

Pode-se observar pelo Gráfico 3, que no período da safra 2016/2017 comparando com a projeção de uma década para a frente, a produção do trigo bem como o consumo serão crescentes, já a importação terá uma leve redução em 2026/2027 (MAPA, 2017).

Gráfico 3: Estimativa de produção, consumo e importação de trigo no Brasil.



Fonte: Brasil Projeções do Agronegócio 2016/17 a 2026/27: CGEA/DCEE/SPA/Mapa e SGI/Embrapa.

O Conselho Internacional de Grãos (IGC, 2018) anunciou em documento mensal aumento na produção de trigo em 2017/18 de oito milhões de toneladas, para 757 milhões.

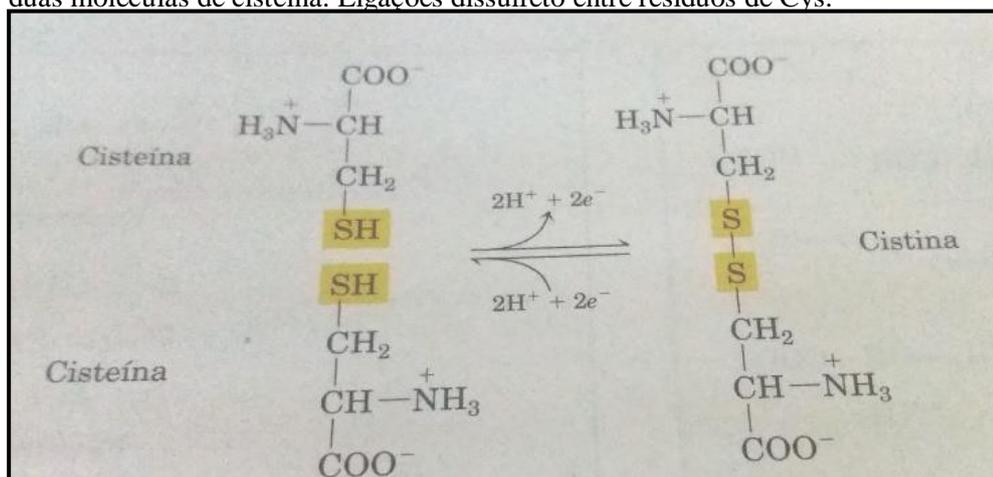
Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017), os Estados Unidos é um grande produtor de trigo, entretanto outros países como China, União Européia, Índia e Rússia apresentaram maior produção nos últimos três anos. Ao longo da última década, o trigo ocupou o terceiro lugar entre as culturas de campo dos Estados Unidos (EUA), tanto na área plantada quanto nas receitas agrícolas brutas, perdendo para outros grãos como o milho e soja. Os EUA também apresentam destaque na exportação sendo um dos maiores exportadores mundiais de trigo, porém recentemente passou esse papel de destaque para a União Européia, Canadá e Rússia.

## 2.5 Formação e constituição da rede protéica

A farinha de trigo apresenta características particulares, em relação às farinhas dos demais cereais, por promover a formação de uma massa viscoelástica que aprisiona o gás gerado ao longo do processo de fermentação e nas etapas iniciais do cozimento do pão, originando um produto leve. As proteínas, especialmente as que formam o glúten: gliadina e glutenina são as principais encarregadas por esta peculiaridade (TEDRUS et al., 2001).

A gliadina e a glutenina possuem em sua constituição aminoácidos sulfurados como metionina, cisteína e cistina. Estes são classificados no grupo R polares, não carregados. Os aminoácidos desse grupo apresentam solubilidade em água, uma vez que contém grupos funcionais capazes de formar ligações de hidrogênio com a água. Além disso, outra característica é que todos os aminoácidos dessa categoria apresentam na sua estrutura o enxofre (S). A cistina é formada, a partir da oxidação da cisteína (Figura 3), formando assim um aminoácido dimérico, covalente unido (LEHNINGER, 2011).

Figura 3: Formação reversível de uma ligação dissulfeto através da oxidação de duas moléculas de cisteína. Ligações dissulfeto entre resíduos de Cys.



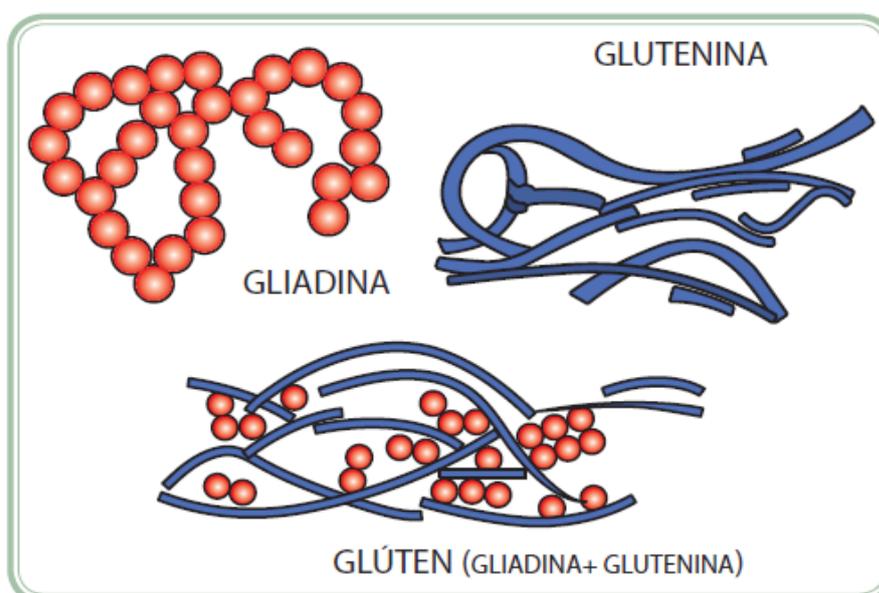
Fonte: Lehninger, 2011.

O glúten é um composto protéico formado quando a farinha de trigo é adicionada de água, e submetida a adequado trabalho mecânico. À proporção que o líquido inicia a interação com as proteínas insolúveis, gliadina e glutenina, a rede de glúten começa a se desenvolver. A fração dessas proteínas no trigo são condições fundamentais para a formação da rede viscoelástica, com qualidade durante o processamento de panificação (VIEIRA, 2011).

Ao longo do desenvolvimento da massa, os agregados de proteína, que de início parecem possuir estrutura física fibrilar são transformados em filmes constantes ou membranas com propriedades reológicas apropriadas à expansão, mas também à retenção dos gases fabricados no decorrer da fermentação e da cocção da massa. Quando a glutenina está hidratada forma uma massa bastante dura e “borrachenta”, já a gliadina produz uma massa fluida e viscosa (CAMPANOLLI, 1992).

A gliadina confere à massa extensibilidade, e a glutenina e o resíduo protéico a elasticidade. Após a adequada hidratação da farinha de trigo é formada a massa viscoelástica. As ligações de dissulfeto (S-S) ficam entre os aminoácidos sulfurados existentes nas moléculas de proteínas, e tem como função sustentar a rede constituída pelas proteínas formadoras do glúten. A quantidade de aminoácidos sulfurados está diretamente relacionada à força do glúten (MANDARINO, 1994). Em relação à formação da rede de glúten, geralmente é atribuída às gluteninas a formação das malhas, das quais as fibras retêm as gliadinas, a glutenina confere a característica de elasticidade da massa (SILVA et al., 2004). As gliadinas são normalmente associadas às características de viscosidade e extensibilidade do glúten (GIANIBELLI et al., 2001).

Figura 4: Formação da rede de glúten.



Fonte: QUAGLIA (1991).

A Figura 4 mostra que a junção das proteínas, gliadina e glutenina formam a rede de glúten. As particularidades viscoelásticas da massa de trigo são o principal motivo na determinação da qualidade panificável, sendo essas características resultantes da estrutura e interações das proteínas do glúten. As mesmas são prolaminas monoméricas constituídas de cadeias com ligações simples ou ligações dissulfídicas intramoleculares. Outras proteínas que também apresentam essas características são as albuminas e globulinas. As gluteninas são proteínas poliméricas constituídas de ligações dissulfídicas intramoleculares e intermoleculares, formando dessa maneira cadeias compostas por subunidades, essas proteínas apresentam elevada massa molecular (SANTOS, 2008).

As proteínas do trigo colaboram fortemente para a aplicabilidade da farinha no processamento de fabricação de pão. As proteínas da farinha de trigo podem ser divididas por meio de vários mecanismos. O procedimento tradicional de classificação da solubilidade de Osborne (1986) envolve a extração das proteínas albuminas e globulinas da farinha com soluções salinas diluídas, já com a gliadina a extração é realizada com 70% de etanol, subsequentemente a solubilização da glutenina no resíduo com ácido ou álcali (CAMPANOLLI, 1992).

As proteínas do trigo encontram-se, especialmente, no endosperma, mas também são encontrados no gérmen e nas fibras. São classificadas segundo a sua solubilidade em diferentes sistemas de solventes. Essas são classificadas em cinco grupos: albumina e globulinas, cada uma corresponde de 6 a 10%, gliadina e glutenina 35% cada e o resíduo protéico a 10% (MANDARINO, 1994).

As proteínas não formadoras de glúten, albuminas e globulinas, ambas solúveis em água, não participam da formação da rede de glúten, bem como da estrutura do pão. Porém, elas executam um papel fundamental no processo de panificação atuando como fonte de proteínas para as leveduras, no decorrer da fermentação da massa. A quantidade de gliadina e glutenina, proteínas formadoras do glúten, é determinante para a qualidade do trigo e a proporção dessas proteínas estabelece os diferentes atributos do glúten dos diferentes tipos de trigo. As gliadinas possuem estrutura globular e as gluteninas organização fibrosa (MANDARINO, 1993). Outras características dessas proteínas é que ambas são insolúveis em água e apresentam a propriedade peculiar de entrelaçar-se entre elas por meio de ligações de hidrogênio, ligações de Van Der Waals e ligações de sulfeto, formando assim o glúten (BRANDÃO; LIRA, 2011).

## 2.6 Biofortificação agronômica

O trigo é um alimento básico, presente na dieta da população brasileira. Essa característica está associada ao seu destaque na produção mundial, a grande utilização nas indústrias de panificação e bebidas, pelo seu valor nutricional e por ser um ingrediente muito utilizado na formulação dos alimentos, bem como no preparo de vários pratos caseiros.

Em consequência de ser um cereal básico, apresenta grande capacidade para a biofortificação, que tem como finalidade adquirir cultivares com grãos que possuem maiores teores de nutrientes, sendo que esse processo pode ser realizado por meio do melhoramento genético, convencional ou técnicas agronômicas. O melhoramento dos grãos de cereais, em micronutrientes, por meio da biofortificação contribui para minimizar os progressivos problemas nutricionais na sociedade (PASCOALINO, 2014).

O Programa HarvestPlus, consolidado no ano de 2000, tem como missão combater a fome em escala mundial por meio da biofortificação. O objetivo é alcançar 20 milhões de residências agrícolas com alimentos nutritivos biofortificados até o ano de 2020 (HARVESTPLUS, 2018). Em 2002 a coordenação das atividades do HarvestPlus LAC (segunda fase do projeto AgroSalud) foi entregue à Embrapa, especificamente, à pesquisadora Marília Nutti, em razão do desempenho adequado das atividades de biofortificação praticadas no país. Esse projeto tem como prioridades melhorar a qualidade nutricional das culturas alimentares mais relevantes, adaptadas às zonas periféricas da América Latina e Caribe e elaborar produtos processados os quais possam melhorar a dieta alimentar da população urbana e rural destas localidades (EMBRAPA, 2018)

A biofortificação promove uma medida sustentável para melhorar a segurança alimentar, bem como nutricional para milhões de consumidores de baixo poder aquisitivo, que dependem dos alimentos essenciais como fonte básica de energia na sua alimentação (BOUIS et al., 2011).

No procedimento de biofortificação agronômica, o mineral é fornecido para ser absorvido e captado pela planta, sendo subsequentemente inserido na alimentação de humanos e animais (LARA, 2016).

Apesar da farinha de trigo ser normalmente fortificada ao longo do processamento com ferro e ácido fólico, uma maneira atrativa e mais sustentável é a biofortificação (BORRILL et al., 2014). A TACO (2011) relaciona a composição dos minerais contidos na farinha de trigo, e essa matéria-prima possui vários nutrientes na sua composição.

Entretanto, a biofortificação agrônômica visa aumentar o potencial enriquecedor dos teores de nutrientes e vitaminas, na porção comestível dos vegetais, além disso, essa técnica pode ser empregada visando o crescimento nutricional dos produtos agrícolas bem como aprimorar a dieta e a saúde humana e animal (MORAES et al., 2012).

Esse método é realizado com o uso de fertilizantes e práticas de manejo, que objetiva ampliar as taxas de micronutrientes nas culturas. O método pode ser executado através da adubação, via solo, tratando as sementes ou por aplicação foliar (WELCH, 2008).

Esse procedimento é relativamente de baixo custo e eficaz para o aumento da qualidade nutricional dos alimentos. Produtos submetidos à biofortificação minimizam a ocorrência de várias doenças na sociedade e, conseqüentemente diminui as despesas com a saúde pública. Os alimentos que apresentam maior destaque para aplicar essa técnica são aqueles considerados como a base da alimentação populacional, sendo eles cereais e grãos, como o trigo, soja, arroz, milho e feijão (INOCENCIO, 2014).

Indícios científicos apontam que o processo de biofortificação apresenta grande potencial para ampliar a biodisponibilidade de componentes minerais nos alimentos oriundos das culturas, sem prejudicar as suas produtividades (MARTINEZ, 2013).

## **2.7 Nitrogênio e enxofre**

O nitrogênio (N) de forma geral é o nutriente mineral mais requerido pelas plantas, os teores desse nutriente variam de 2% a 5% da matéria seca. Dentre as funções do nitrogênio pode se destacar que: aproximadamente 90% do N da planta são encontrados na forma orgânica e dessa forma desempenha as suas funções, como elemento estrutural de macromoléculas e componente de enzimas. Os “aminoácidos livres” originam: a outros aminoácidos e às proteínas e, conseqüentemente, às coenzimas; são precursores de hormônios vegetais – triptofano do AIA e metionina do etileno; núcleos porfirínicos – clorofila e citocromos; estoque de N nas sementes – asparagina, arginina; às “bases nitrogenadas” (púricas e pirimídicas), aos nucleosídeos; e por polimerização destes ácidos nucléicos – DNA e RNA; ATP; coenzimas como o NAD (dinucleotídeo de nicotinamida e adenina) e o NADP (dinucleotídeo de nicotinamida adenina e fosfato) (FAQUIN, 2005).

O N apresenta relevância para a cultura do trigo (BOSCHINI, 2010). Sendo requerido ao longo do ciclo de crescimento das plantas e contribuindo no rendimento desse grão. A utilização de N no momento correto pode elevar a eficiência do emprego desse nutriente pelo

trigo, ampliando o número de grãos por espiga, bem como a quantidade de espigas por área (SANGOI et al., 2007).

É um elemento de suma importância para as plantas, uma vez que possui função estrutural em moléculas de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, vitaminas e pigmentos, DNA e RNA (purinas e pirimidinas), clorofila, colina e ácido indolilacético, atua em processos como absorção iônica, fotossíntese e respiração, bem como estimula o crescimento de raízes (MALAVOLTA, 1980 e 2008).

Apesar de existir variações nos resultados das doses de N aplicadas conforme a resposta de cultivares, clima, solo e outros, grande parte dos estudos evidenciaram que a aplicação do N, ainda que em doses baixas, apresenta vantagens relacionadas à produtividade (VIEIRA et al., 1995).

A quantidade e a fonte apropriada de nitrogênio são fundamentais para fomentar a produtividade e a qualidade do trigo, proporcionando maior capacidade de produtividade (MEGDA, et al., 2009). Segundo Almeida (2016), pesquisas apontam que o uso do N pode modificar o teor e a composição das proteínas no grão, sendo essas relevantes para determinar o uso do trigo como matéria-prima, na elaboração de diversos produtos de panificação.

A qualidade tecnológica em trigo está bastante correlacionada à quantidade e qualidade de proteínas aplicadas no grão. A gliadina e glutenina, por exemplo, estão relacionadas com a qualidade tecnológica. Dessa forma, o uso adequado do N irá influenciar nas proteínas que determinam a qualidade tecnológica do trigo (PIRES, et al., 2015).

O enxofre (S) está relacionado às proteínas formadoras de glúten, e conseqüentemente influenciam nas características tecnológicas da farinha de trigo (FANO, 2015), que por sua vez são de suma importância na fabricação dos produtos de panificação.

A falta de S nas plantas cultivadas é considerada como um aspecto limitante, para a má qualidade dos produtos de panificação, pois o S é integrante de vários compostos fundamentais, como os aminoácidos sulfurados cisteína e metionina, coenzimas, tioredoxina e sulfolípidos (JARVAN et al., 2008). O S contribui na formação de aminoácidos, e no trigo, é componente de proteínas formadoras de glúten, gliadina e glutenina, e sua carência pode acarretar em conseqüências desastrosas na qualidade dos grãos (SHEWRY, 1995; JARVAN et al., 2008).

O S na planta, na sua maioria, está presente nas proteínas. A sua quantidade nas plantas variam de 0,2% a 0,5% da matéria seca. A maioria das culturas precisa de 10 a 30

kg/ha de S, valores que podem se elevar de acordo com a exigência das culturas. Dentre as famílias de plantas, a exigência de S intensifica na ordem seguinte: gramíneas < leguminosas < crucíferas. Uma das funções de destaque do S nas proteínas ou polipeptídeos é a construção da ligação dissulfeto (S-S). Estas ligações agem na estabilidade da estrutura terciária das proteínas, mas também exerce um papel fundamental, uma vez que colabora para a conformação adequada da proteína enzimática cataliticamente ativa. A ligação entre duas moléculas de S é formada por grupos sulfídricos (-SH) (FAQUIN, 2005).

O S está contido em todas as proteínas, tanto as enzimáticas quanto as não-enzimáticas, e em coenzimas: CoA que atua na respiração e metabolismo de lipídeos; biotina, participa na assimilação de CO<sub>2</sub> e descarboxilação. A tiamina atua na descarboxilação do piruvato e oxidação de alfacetoácidos, componente da glutatona e de hormônios, ligações de bissulfato, ligações de enxofre (-S-S-), mas também participam nas estruturas terciárias de proteínas, na constituição de óleos glicosídicos e compostos voláteis, bem como na formação de nódulos das leguminosas. Na ferredoxina ocorre a assimilação do CO<sub>2</sub>, síntese da glicose e do glutamato, fixação do dióxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>), e redução do nitrato (MALAVOLTA, 2008).

Um efeito simultâneo entre N e S parece elevar a correlação destes nutrientes e suas proporções nos grãos de trigo, conseguindo dessa forma aumentar a qualidade dos produtos de panificação (FANO, 2015).

Esses dois nutrientes contribuem de forma significativa para a formação da rede de glúten, visto que o N está relacionado ao teor de proteínas e o S com as proteínas formadoras do glúten gliadina e glutenina. O termo glúten se refere ao conjunto de proteínas insolúveis do trigo, que apresentam a capacidade de formar uma massa viscoelástica, isto é, quando é adiciona água na farinha de trigo e misturada, é possível ver o desenvolvimento de uma massa composta da rede protéica do glúten junto aos grânulos de amido (GUARIENTI, 1996). As proteínas de armazenamento do trigo, componentes do glúten, têm ampla aplicabilidade, dentre elas, o melhor desenvolvimento da massa ao longo da cocção (RIBEIRO, 2012).

A farinha de trigo tem a característica de ser viscoelástica, propriedade essa que favorece a obtenção de um produto panificável de boa qualidade. Essa característica está ligada, a composição das proteínas contidas na farinha de trigo que podem favorecer a formação da massa com atributos reológicos essenciais para a fabricação de pão (ZILIC, et al., 2011).

O glúten é extremamente importante para a indústria alimentícia, em especial para o setor de panificação, por proporcionar aos produtos características desejáveis. O mesmo, em

panificação, aprisiona o gás carbônico fabricado ao longo do processo de fermentação e promove o aumento do volume do pão (GUARIENTI, 1996).

Pode-se afirmar que o glúten tem uma estrutura em que as subunidades da glutenina de alto peso molecular criam uma “espinha dorsal elástica” que constitui-se principalmente de polímeros com “cabeça de cauda” com ligações dissulfídicas intercadeias. Esta “espinha dorsal” forma um suporte para as subunidades de menor peso molecular (ligados por ligação dissulfeto). A gliadina também pode ligar-se com a glutenina por forças não-covalentes, apesar de estas interações sejam comumente consideradas como colaboradores da viscosidade e não da elasticidade (FERRER, et al., 2011).

Segundo Kent (1983), geralmente a farinha de trigo forte, tem maior capacidade em reter gás carbônico, já a farinha fraca possui deficiência nesse aspecto. O termo “força de uma farinha” geralmente é usado para caracterizar maior ou menor capacidade de uma farinha passar por tratamento térmico ao ser adicionada com água, mas também está relacionado pela maior ou menor capacidade das proteínas constituintes do glúten absorver água, combinadas à retenção do gás carbônico, resultando em produto final de panificação desejável (TIPPLES, 1982).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local de instalação do experimento**

As análises desenvolvidas nesta pesquisa foram realizadas na Universidade Federal de Lavras (UFLA) no Departamento de Ciência dos Alimentos, em Lavras - MG em parceria com outras empresas.

A pesquisa teve a cooperação da Agrichem do Brasil, a qual concedeu os grãos de trigo suplementados dos nutrientes enxofre e nitrogênio durante o cultivo, os quais foram plantados em Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A moagem dos grãos e as análises de alveografia e número de queda foram realizadas na empresa Sul Mineiro Alimentos, a qual fica localizada na cidade de Varginha em Minas Gerais. A Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) – Trigo, situada em Passo Fundo Rio Grande do Sul, realizou a análise de farinografia.

As análises de glúten úmido (GU), glúten seco (GS) e a classificação das farinhas de trigo foram conduzidos no Laboratório de Grãos Raízes e Tubérculos, e a de proteína no Laboratório de Química, Bioquímica e Análise de Alimentos, ambos no Departamento de

Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras - MG. A análise dos aminoácidos sulfurados foi realizada no Laboratório Eurofins, localizado em São Paulo.

Foram avaliadas duas farinhas de trigo, sendo elas a testemunha, isenta da adição de nutrientes, e a outra submetida ao processo de biofortificação agrônômica com a aplicação dos nutrientes S e N.

### **3.2 Obtenção dos grãos de trigo**

As áreas comerciais de trigo, cultivadas na região sul do Brasil, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina foram selecionadas para a condução do estudo. O manejo das lavouras seguiu as recomendações convencionais para a cultura.

Para o estudo, áreas comerciais de trigo receberam ou não o fornecimento suplementar de N e S. A quantidade dos nutrientes aplicados por hectare correspondeu a 2640 g de N via fertilizante líquido comercial Nitamin® (8 L ha<sup>-1</sup>), formulado com polímero de N amídico e 150,3 g N + 340 g de S via fertilizante líquido comercial SupaS® (1 L ha<sup>-1</sup>), formulado com tiosulfato de amônio. A aplicação dos nutrientes ocorreu via pulverização foliar, no estágio fenológico de emborrachamento.

#### **3.2.1 Obtenção das farinhas de trigo semolina**

Para a obtenção das farinhas de trigo semolina inicialmente o material passou pela etapa de recepção e armazenamento dos grãos, em seguida foi realizada a limpeza, cujo intuito é eliminar as impurezas, pedras, terra dentre outros corpos estranhos.

A obtenção das farinhas de trigo semolina foi realizada no MSM em moinho experimental da marca Labormill, modelo tipo 4. RB, como é ilustrado na Figura 5, localizada na cidade de Varginha, em Minas Gerais. Nessa etapa da moagem ocorreu à separação das partes que compõem os grãos do trigo, sendo considerada a semolina a parte mais interna do endosperma. Após a moagem foram obtidas duas farinhas de trigo semolina: uma testemunha, sem o acréscimo de nenhum nutriente e a segunda biofortificada com os nutrientes S e N, processo que ocorreu no período do plantio. As amostras foram devidamente acondicionadas e identificadas.

Figura 5: Moinho experimental.



Fonte: Do Autor 2018.

### **3.2.1.1 Rendimento das farinhas de trigo semolina**

As amostras dos grãos de trigo foram pesadas, resultando em 7,72 kg (testemunha) e 13,62 Kg (biofortificada), e submetidas ao processo de moagem. Posteriormente, a matéria-prima foi novamente pesada, a fim de determinar o rendimento final das farinhas de trigo, tanto a testemunha quanto a tratada por meio da biofortificação agrônômica, obtendo as seguintes quantidades de farinha de trigo 2,12 kg e 3,97 kg, ou seja, rendimentos de 27,42% e 29,15% de semolina.

### **3.3 Condução do experimento**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos, sendo elas a farinha de trigo semolina testemunha e a farinha de trigo semolina biofortificada, com três repetições.

Os resultados foram analisados por meio da análise de variância (Anava), e nos modelos significativos, pelo teste F.

### **3.4 Análises realizadas nas farinhas de trigo semolina**

#### **3.4.1 Análise da cor**

A cor foi determinada em Colorímetro Minolta, modelo CR - 410, usando sistema CIEL\*a\*b\*, com iluminante D<sub>65</sub> e ângulo de leitura de 10°, considerando os caracteres: claridade (L\*), que varia de zero (preto) até 100 (branco) e coordenadas de cromaticidade a\* e b\*, que variam de - 60\* (verde) até + 60\* (vermelho), e de - 60\* (azul) até + 60\* (amarelo).

#### **3.4.2 Proteína**

A análise de proteína foi realizada em triplicata nas amostras de farinha de trigo, pelo método de micro-Kjeldahl (AOAC, 2015), com digestão realizada em bloco digestor da marca Solab, modelo SL 25/40; destilação executada no destilador de nitrogênio da marca Tecnal e modelo TE 0364, e por fim a titulação para quantificar a percentagem de nitrogênio nas amostras. O fator de conversão utilizado foi de 5,83 o qual é estabelecido para o trigo.

#### **3.4.3 Teor de glúten úmido e seco**

Os testes de glúten úmido e seco foram realizados em triplicata, segundo o método descrito pela Granotec do Brasil (2000).

Essa metodologia é manual e realizada da seguinte maneira: inicialmente cápsulas de porcelana são colocadas na estufa a 95°C para eliminação de umidade, posteriormente ficam no dessecador para resfriar, em seguida pesa-se 25 g de farinha de trigo, adiciona-se 15 mL aproximadamente de água destilada, dependendo da capacidade da farinha em absorver a água, e faz o boleamento da massa para a formação da rede protéica, denominada de glúten.

Após 1 hora essa bola é lavada de maneira cuidadosa em água corrente, comprimindo-a delicadamente, para que não haja perda de glúten. Quando o líquido escoado estiver totalmente límpido, a lavagem é interrompida, posteriormente, o glúten úmido é pesado. Em seguida o mesmo é levado para a estufa a 105°C até peso constante, resfriado em dessecador e posteriormente pesado o glúten seco.

Os resultados foram expressos com base nas Equações 1 e 2:

$$GU = \frac{(GU * 100)}{PA} \quad \text{Equação 1}$$

$$GS = \frac{(GS * 100)}{PA} \quad \text{Equação 2}$$

Legenda:

GU: Glúten úmido

GS: Glúten seco

PA: Peso da amostra

### 3.4.4 Teor de aminoácidos sulfurados

A determinação do teor de aminoácidos sulfurados foi realizada no Laboratório Eurofins, utilizando o método ISO 139003: 2005.

No presente estudo, os aminoácidos analisados foram à cistina, metionina e cisteína, ambos apresentam ligações dissulfídicas (-S-S-) na sua composição, característica essa que pode favorecer na formação da rede de glúten. Para a realização da análise foi utilizado à cromatografia iônica e os equipamentos Biochrom e o Pickering, os quais foram fabricados no Reino Unido e Estados Unidos, respectivamente.

A metodologia para a execução consistiu em: as amostras são oxidadas com peróxido de hidrogênio e ácido fórmico a temperatura fria, seguida de hidrólise ácida usando ácido clorídrico aquoso. O processo de oxidação oxida a metionina e a cisteína, evitando a perda durante a hidrólise e a mesma quebra as ligações peptídicas na amostra. Após a hidrólise, a amostra é ajustada para pH 2-2,5, trazida para volume com tampão de carga e filtrada.

Os aminoácidos são separados num analisador de aminoácidos e a detecção é realizada usando derivatização pós-coluna com reagente de ninidrina e 440 e 570 nm. Para quantificação, uma calibração de 1 ponto é usada. Para garantia de qualidade, um padrão interno, *pet food*, é analisado em cada execução.

### 3.4.5 Alveografia

Essa análise é comumente realizada em laboratórios de controle de qualidade de farinhas. O teste de alveografia permite analisar a deformação da massa durante a fermentação e crescimento no forno (MONTENEGRO; ORMENESE, 2005). As características viscoelásticas da massa são analisadas por meio de diferentes caracteres da alveografia, como: a força do glúten (W), a tenacidade (p), a extensibilidade da massa (L), a relação tenacidade/extensibilidade (P/L) (EMBRAPA, 2009).

O procedimento foi realizado no alvéografo coluna d'água da marca Chopin e desenvolvido em conformidade com a metodologia descrita pelo fabricante (CHOPIN, 1993), em duplicata.

Os valores da área (W) ou a força do glúten foram calculados com base na Equação 3:

$$W = 6,54 \times S$$

Equação 3

Legenda:

W = Força do glúten

S = Área sob a curva em  $\text{cm}^2$

### 3.4.6 Farinografia

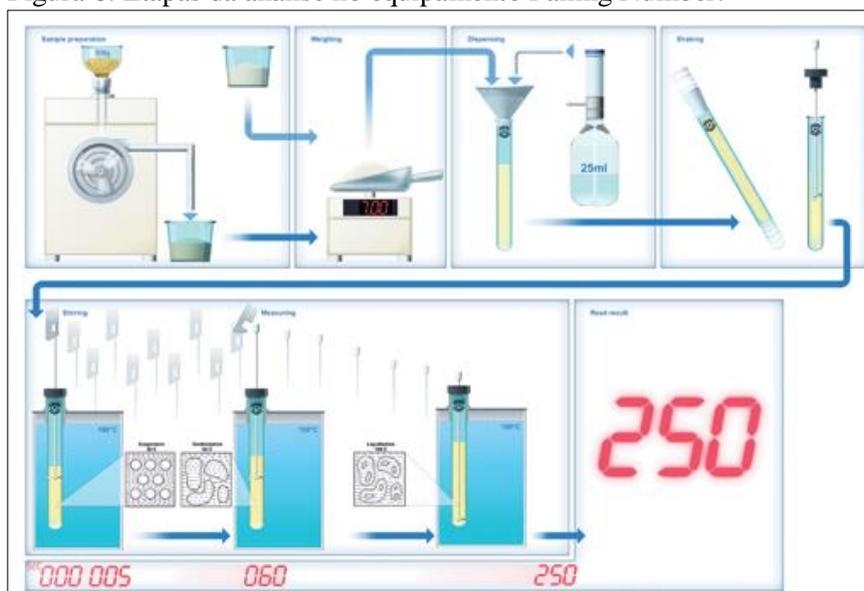
Essa análise foi realizada em duplicata, no equipamento denominado Farinógrafo Brabender, fabricado na cidade de Duisburgo (Alemanha), com cuba de 50 g e modelo - Mod. Nº 8101045001; Typ. 820604. As propriedades de mistura da massa de farinha de trigo foram determinadas, de acordo com o método nº 54-21.01, da AACC (2011). Os caracteres no farinograma considerados foram: absorção de água (AA), tempo de desenvolvimento da massa (TDM), estabilidade (EST) e índice de tolerância à mistura (ITM).

### 3.4.7 Número de queda

Essa análise foi realizada no Falling Number (FN) modelo 1700, da marca Perten Instruments. O número de queda também conhecido como *Falling Number*, possibilita determinar a capacidade de fermentação da massa de farinha de trigo, visto que, quando o

valor encontrado é maior, significa menor atividade da enzima alfa-amilase, fator esse que impossibilita o processamento industrial. O teor de enzimas existente nas farinhas interfere na qualidade do pão fabricado, atividade amilásica entre 200 a 350 segundos, resulta em pão com miolo firme, volumoso e textura macia. Em contrapartida, a alta atividade enzimática (> 200 segundos) ou baixa (acima de 350 segundos), o produto apresenta aspectos indesejáveis (GUTKOSKI et al., 2008).

Figura 6: Etapas da análise no equipamento Falling Number.



Fonte: Perten Instruments - < <https://www.perten.com/Products/Falling-Number/The-Falling-Number-Method/How-does-the-Falling-Number-method-work/> >.

De acordo com a Figura 6, para essa análise, inicialmente as amostras são preparadas, pesadas e colocadas em tubos viscosímetro. Posteriormente, é adicionada água destilada ao tubo, e o mesmo é agitado a fim de obter uma suspensão homogênea, em seguida os tubos são colocados em banho de água quente, iniciando a medição após 1 minuto. O tempo total em segundos é contado a partir do início da análise até o agitador cair. Esse tempo é medido e registrado pelo equipamento (PERTEN, 2018).

### **3.4.8 Classificação das farinhas de trigo semolina**

De acordo com a Instrução Normativa n.º. 38, 30 de novembro de 2010, o trigo é classificado em Trigo Brando, Pão, Melhorador, Trigo para outros usos e Durum, definidas em função das determinações analíticas de Alveografia (W), Número de Queda e Estabilidade (minutos).

Dessa forma com os resultados obtidos das análises citadas anteriormente às quais foram realizadas na farinha testemunha (FTST) e na outra biofortificada (FTSB), é possível classificar esses produtos em classes.

### **3.4.9 Análise estatística**

Os resultados foram analisados em análise de variância (Anava), e teste de F. O programa estatístico utilizado no presente estudo foi o Sisvar na versão 5.6 (FERREIRA, 2006).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A biofortificação agrônômica é uma técnica que consiste em aumentar os teores de micronutrientes nos alimentos por meio da utilização de fertilizantes (MORAES, 2012). Essa auxilia no combate à fome por ampliar a quantidade de nutrientes nos alimentos, principalmente nos de maior consumo no cotidiano.

Dessa forma as análises realizadas buscaram avaliar a influencia da biofortificação nos grãos de trigo, nos quais foram aplicados os nutrientes S e N, verificando se esses contribuem para maior formação de proteínas e aminoácidos sulfurados, ampliando, por conseguinte a força da farinha de trigo e sua capacidade na formação do glúten. Na Tabela 1 estão os resultados obtidos das análises químicas, reológicas e a atividade enzimática.

Tabela 1: Resultado das análises de proteína, aminoácidos sulfurados, glúten, cor e alveografia, número de queda e farinografia.

TRATAMENTOS												
ANÁLISES	FTST						FTSB					
<b>Proteína</b> (g 100g <sup>-1</sup> )	11,5622						11,0857					
<b>Aminoácidos sulfurados</b> (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Cisteína+Cistina			Metionina			Cisteína+Cistina			Metionina		
	274			206			265			203		
<b>Glúten</b> (g 100g <sup>-1</sup> )	Glúten úmido			Glúten seco			Glúten úmido			Glúten seco		
	28,8156			12,3160			26,5861			9,0485		
<b>Cor</b>	L*	a*	b*				L*	a*	b*			
	90,22	0,88	10,44				90,14	0,86	10,78			
<b>Alveografia</b>	W (J)	P (m/m)	L (m/m)	P/L			W (J)	P (m/m)	L (m/m)	P/L		
	315,82 <sup>a</sup>	129,36	52,60	2,46 <sup>b</sup>			365,85 <sup>a</sup>	120,78	66,40	1,82 <sup>b</sup>		
<b>Número de queda (Seg)</b>	319 <sup>a</sup>						329 <sup>b</sup>					
<b>Farinografia</b>	AA	TDM	EST	ITM	TQ	VV	AA	TDM	EST	ITM	TQ	VV
	66,0	7,0	6,4	104	8,7	87	66,1	6,0	5,9	114	7,5	75
	65,9	6,9	6,9	98	8,8	88	66,2	5,7	5,9	105	7,4	74

\*Médias seguidas de letras distintas para a mesma característica devem ser consideradas diferentes pelo teste de *F* ( $p \leq 0,05$ ).

Legenda:

AA= absorção de água

EST= estabilidade

TQ= tempo de queda

W= força do glúten

L= extensibilidade

TDM= tempo de desenvolvimento da massa

ITM= índice de tolerância a mistura

VV= valor do valorímetro

P= tenacidade

P/L= tenacidade/extensibilidade

A avaliação quantitativa de proteína foi realizada utilizando-se o método micro-kjeldahl, as amostras não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) pelo teste de F. O resultado médio foi de 11,33 g de proteína em 100 g de farinha.

As variedades de trigo podem apresentar maior quantidade de proteínas e, entretanto as mesmas terem baixa qualidade, o inverso também pode ocorrer. O teor de proteína indica para qual produto a farinha de trigo deve ser empregada na indústria de alimentos. A farinha de trigo utilizada para a fabricação de pão deve apresentar no mínimo 11% de proteína de boa qualidade, já para a produção de bolos e biscoitos o teor pode ser inferior, oscilando entre 8,5% a 11% (MONTENEGRO; ORMENESE, 2005).

Brandão e Lira (2011) corroboram com os autores citados anteriormente, por afirmar que o teor médio de proteína na farinha de trigo, para ser usada na indústria deve estar na faixa de 7% a 15%. Esses valores indicam que as farinhas analisadas estão em conformidade.

De acordo com essas afirmações as farinhas analisadas nessa pesquisa, podem ser utilizadas na produção de pães, bolos e biscoitos.

Os aminoácidos compõem as unidades básicas de proteínas e polipeptídeos. Os mesmos são moléculas que possuem um carbono (C), com quatro ligantes distintos, que são eles: uma carboxila (-COOH), uma amina (-NH<sub>2</sub>), um hidrogênio (H) e uma cadeia lateral que é própria para cada aminoácido (SILVA, et al., 2012).

Os aminoácidos são de suma importância na dieta alimentar, dos 20 encontrados de forma natural, 10 são essenciais e precisam ser ingeridos em forma de alimentos, pois nem todos são sintetizados pelo organismo. A metionina (Met) é classificada como essencial, sendo assim deve se ingerir proteínas adequadas que quando hidrolisadas forneçam esse aminoácido (BRUICE, 2006).

A cisteína (Cys) é considerada não-essencial, o que significa que o próprio organismo humano consegue sintetizar. A cistina é um dímero da Cys, a qual é produzida pela oxidação de grupos tiol para a formação de uma ligação cruzada dissulfeto (FENNEMA, et al., 2010).

Os teores de aminoácidos encontrados nas amostras apresentaram valor superior na FTST quando comparada com a FTSB, como pode ser observado na Tabela 1. Entretanto, de acordo com o Dietary Reference Intakes (DRI, 2005), todos os valores encontrados no presente estudo estão em conformidade com a quantidade que deve ser ingerida diariamente, pelas pessoas com a idade de 19 anos em diante. O recomendado pela DRI é de 19 mg/ kg<sup>-1</sup>/ d de metionina + cisteína, inclusive essa quantidade está acima do indicado, o que indica um fator positivo.

Durante o teste de lavagem do glúten as proteínas solúveis em água, albumina e globulina, são lavadas juntamente com o amido. E as proteínas glutenina e gliadina, as quais são insolúveis e responsáveis pela formação do glúten apresentam, entretanto elevada capacidade de absorção de água (2/3 do peso do glúten úmido equivale à água absorvida) (MONTENEGRO; ORMENESE, 2005).

Os teores de glúten úmido e de glúten seco das amostras não apresentaram diferença significativa entre si conforme o teste F realizado. As amostras apresentaram valor médio de 27,71 g 100 g<sup>-1</sup> de glúten úmido e 10,65 g 100 g<sup>-1</sup> de glúten seco. Conforme a GRANOTEC do Brasil, para uma farinha ser considerada panificável ela deve conter no mínimo 26,0 g 100 g<sup>-1</sup> de glúten úmido e no mínimo, 8,5 g 100 g<sup>-1</sup> de glúten seco (GRANOTEC, 2000). As amostras analisadas atendem ao requisito para glúten úmido e seco, consideradas, portanto, como farinhas panificáveis.

De acordo com Nitzke e Thys (2011) a determinação do teor de glúten em farinhas constitui-se na insolubilidade do glúten na água bem como na propriedade que esse apresenta de aglomerar-se gerando uma massa plástica, quando manipulado sob corrente de água, retirando os demais componentes.

A cor é uma característica fundamental de qualidade, embora os consumidores tenham preferência pelas farinhas mais brancas, isso não indica que apresentam melhor qualidade para os diferentes tipos de produtos (EMBRAPA, 2009).

A cor da farinha é oriunda especialmente da quantidade de carotenóides, proteínas, fibras e da presença de impurezas no processo de moagem, a farinha de trigo reservada à panificação deve ser branca ou levemente amarelada com ausência de pontos pretos (NITZLE; THYS, 2011).

Nenhum dos caracteres analisados, L\*, a\* e b\*, que têm os valores disponíveis na Tabela 1 apresentaram diferença estatística entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade. Em relação ao atributo L\* que apresentou média de 90,21, ambos os resultados indicam que a cor das farinhas tende para maior claridade, visto que essa análise varia de zero (preto) até 100 (branco). Já para as coordenadas de cromaticidade a\* e b\* que tiveram médias de 0,86 e 10,61, respectivamente, as quais estão relacionadas, as seguintes características, na devida ordem: de - 60\* (verde) até + 60\* (vermelho) e -60\* (azul) até +60\* (amarelo), apresentaram valores próximos à “Região do cinza” do gráfico de cor do Sistema CieLab, mas com a claridade alta, esses dois últimos resultados indicam normalidade da cor, ou seja, cor branca.

A análise de alveografia foi realizada no equipamento alveógrafo, o qual avalia o desempenho da massa durante a fermentação, promovendo a formação dos alvéolos gerados

pelo gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Outras propriedades também podem ser examinadas, como: força do glúten (W), que indica o atributo panificável da farinha; a tenacidade (P), maior pressão requerida para aumentar a massa; a extensibilidade da massa (L); a relação entre tenacidade e extensibilidade (P/L) que avalia a estabilidade da massa, caracteres relacionados aos fatores reológicos da massa (EMBRAPA, 2009). Todas as propriedades analisadas apresentaram diferença significativa entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, como está expresso na Tabela 1.

A força do glúten de uma massa é determinada nessa análise, sendo um parâmetro de suma importância para a indústria de panificação, pois representa o comportamento da massa ao longo do processo de fermentação.

A força do glúten (W) pode apresentar variação nos valores na faixa de 100 ou superiores a 300<sup>4</sup> J, quanto mais elevado for à força do glúten, maior será a força da farinha (ORO, 2013).

A relação entre a tenacidade e extensibilidade é representada por P/L, valores inferiores a 0,60 é considerado de glúten extensível, entre 0,61 a 1,20, de glúten balanceado e acima de 1,21, apresenta glúten tenaz o que indica resistência (GUARIENTI, 1996).

Dessa forma, ambas as farinhas de trigo analisadas são consideradas resistentes, e de acordo com o Quadro 1, são indicadas para a produção de pastas alimentícias em relação aos caracteres, W e P/L, pois segundo Montenegro (2007), o valor de P/L superior a 1,5 e o W acima de 300 (Jx10<sup>4</sup>), se enquadram na aplicação para a produção de massas alimentícias.

Quadro 1: Requisitos de qualidade da farinha de trigo para o pão de forma, biscoitos e pastas alimentícias.

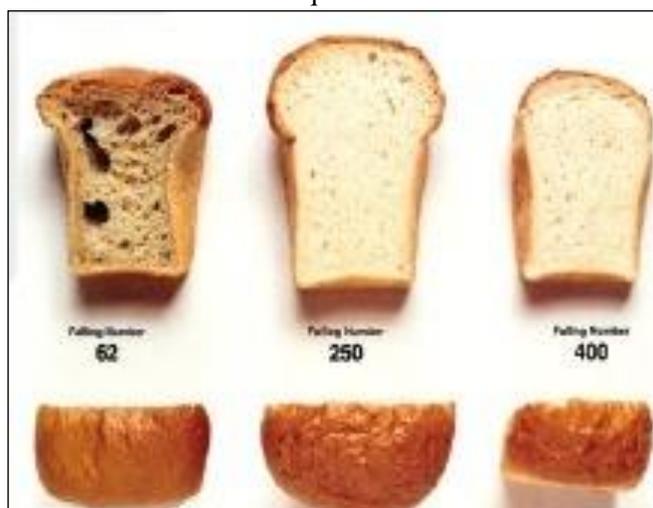
Parâmetros	Categoria de produto		
	Pão de forma	Biscoitos	Pastas alimentícias
Tipo de trigo	Pão/Doméstico	Doméstico	Melhorador/Pão
Quantidade de proteína (%)	10,5-14,0	7,5	>12,0
<b>Qualidade de proteína</b>			
Absorção de água (%)	60-64	48-52	-
Tempo de desenvolvimento (min)	6-8	1-3	3
Estabilidade (min)	>7,5	1-3	Alta
P/L	0,5-1,7	0,3-1,0	>2,0
Força do glúten	150-280	<180	200-400
Extensibilidade (mm)	Média-alta	Baixa	Baixa
Resistência à extensão (U.E.)	Média-alta	Baixa	Alta
<b>Conteúdo de alfa-amilase</b>			
Amilografia	475-625	700-800	300-700
Falling Number (s)	250-300	300-350	200-300
Amido danificado (%)	5,5-7,8	<4	<4

Fonte: Germani (2003).

No presente estudo os valores do número de queda foram de 319 para a FTST e 329 segundos para a amostra FTSB, apresentando diferença significativa entre as mesmas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de *F*, conforme expresso na Tabela 1.

Segundo Gutkoski et al. (2008) o teor de enzimas existente nas farinhas interfere na qualidade do pão fabricado, atividade amilásica entre 200 a 350 segundos, resulta em pão com miolo firme, volumoso e textura macia. Em contrapartida, a alta atividade enzimática (> 200 segundos) ou baixa (acima de 350 segundos), o produto apresenta aspectos indesejáveis. A amostra FTSB, apresentou maior número de queda em comparação com FTST. Dessa forma, conforme esses autores as farinhas analisadas nessa pesquisa resultam em produtos de qualidade desejáveis apresentando características semelhantes à Figura 7, que demonstra as diferentes características dos pães em relação ao número de queda e que o de 250 segundos está mais próximo aos valores encontrados nesse estudo, com maior volume, miolo uniforme e aspecto geral esperado.

Figura 7: Característica dos pães em diferentes resultados do número de queda.



Fonte: Perten (2015).

A análise do número de queda foi realizada em duplicata no equipamento Farinógrafo Brabender, a fim de avaliar a qualidade de mistura da massa das farinhas de trigo.

Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 1, e os caracteres apresentaram valores médios de absorção de água para a absorção de água de 66,55%, tempo de desenvolvimento da massa de 6,4 minutos, estabilidade 6,8 minutos e índice de tolerância à mistura 105,25 UF, não apresentaram diferença significativa entre si ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste *F*. Entretanto, o tempo de queda (TQ) e o valor do valorímetro (VV), apresentaram diferença significativa entre as amostras. Sendo de 8,75

minutos (FTST) e 7,45 minutos (FTSB) e de 87,50 (FTST) e de 74,50 (FTSB), respectivamente.

A estabilidade é um dos caracteres mais relevantes, é definido como o intervalo de tempo dado em minutos, em que o ápice da curva se mantém acima da linha de 500 UB, se referindo a pontos do gráfico obtido, equivale à diferença entre tempo de saída e de chegada. O tempo de chegada corresponde ao início da formação de rede de glúten. O tempo de estabilidade informa por quanto tempo a farinha de trigo pode ser misturada sem que as ligações da massa viscoelástica se rompam. É o valor máximo de tempo que a massa deve ser misturada, antes que se inicie a ruptura da rede de glúten. A esse último fenômeno dá-se o nome de tempo de saída, que é o tempo que o ápice da banda deixa a linha de 500 UF, a partir do início da adição de água (MONTENEGRO; ORMENESE, 2005).

Além desses fatores, a estabilidade de uma massa é um indicativo do grau de resistência ao amassamento e melhor qualidade tecnológica. Os valores de estabilidade de massas procedem, na sua maioria, do número de ligações cruzadas entre as moléculas de proteínas existentes no glúten, assim como da força destas ligações (COSTA et al., 2008).

Segundo os autores Nitzke e Thys (2011), as farinhas devem apresentar absorção de água superior a 55%, uma vez que abaixo desse valor não favorece as condições necessárias para o desenvolvimento da massa, bem como o produto final não atinge a qualidade desejável. A estabilidade é um atributo relacionado ao tempo de batimento das massas, farinhas que possuem valores inferiores a 12 minutos, resistem a menores tempos de batimento e esse período deve ser respeitado, pois pode acarretar no rompimento da rede de glúten.

De acordo com esses mesmos autores, o material analisado pode classificar a qualidade da farinha de trigo conforme o Quadro 2, abaixo. Ambas as farinhas de trigo semolina FTST e FTSB, são classificadas com média força-fracas, sendo indicadas na fabricação de biscoitos fermentados. A absorção de água tanto pela FTST, quanto FTSB evidencia o uso dessas matérias-primas para a produção de massas na indústria de alimentos. Os caracteres TQ e VV apresentaram diferença significativa entre si, isso indica que na FTSB enfraquece mais rápido durante o processo de mistura em comparação com a FTST.

Segundo Faroni (2002), farinhas fortes comumente necessitam de maior tempo de desenvolvimento quando comparadas com as farinhas fracas.

Quadro 2: Classificação da qualidade da farinha segundo a interpretação de Tempo de desenvolvimento da massa; Estabilidade e Índice de tolerância a mistura.

Classificação	Tempo de Desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	Índice de Tolerância (UF)
Muito Fraca	≤ 2,0	≤ 2,0	≥ 200
Fraca	2,1 – 4,0	2,1 – 4,0	150 – 199
Média força-fraca	4,1 – 6,0	4,1 – 7,0	100 – 149
Média força-forte	6,1 – 8,0	7,1 – 10,0	50 – 99
Forte	8,1 - 10,0	10,1 – 15,0	0 – 49
Muito Forte	≥ 10,1	≥15,0	-

Fonte: ICTA, 2011.

#### 4.1 Classificação das farinhas

As farinhas de trigo são classificadas de acordo com o Anexo III da Instrução Normativa Brasileira nº 38, de 30 de Novembro de 2010 (BRASIL, 2010), que estabelece as classes do trigo em relação aos valores de referência dos caracteres de força do glúten (W) obtidos por meio da alveografia, a estabilidade por meio da farinografia e o número de queda.

As farinhas têm que enquadrar em pelo menos dois dos três caracteres estabelecidos conforme a Tabela 2. Dessa forma as farinhas FTST e FTSB são classificadas como melhoradoras, de acordo com os resultados obtidos que estão na Tabela 3.

Tabela 2: Classificação do trigo no Grupo II destinado à moagem e outras finalidades.

Classes	Força do Glúten (Valor mínimo expresso em 10- <sup>4</sup> ) Joules	Estabilidade (Tempo expresso em minutos)	Número de Queda (Valor mínimo expresso em segundos)
Melhorador	300	14	250
Pão	220	10	220
Doméstico	160	6	220
Básico	100	3	200
Outros Usos	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2010.

Tabela 3: Valores médios das amostras em relação à força do glúten e número de queda.

Tratamento	Força do glúten W (J)	Número de queda
FTST	315,82	319
FTSB	365,85	32

## 5 CONCLUSÃO

A biofortificação com os nutrientes enxofre e nitrogênio, nos níveis que foram utilizados no presente estudo não alteram as características, como: a cor; teor de glúten úmido e seco; aminoácidos sulfurados e a classificação das farinhas, sendo ambas trigo melhorador. Essa ausência de alteração nos caracteres mencionados anteriormente pode estar relacionada ao pequeno grau de liberdade usado na pesquisa, limitando assim a verificação da influência da biofortificação, pois com uma quantidade maior de amostras é possível obter resultados mais precisos. Já as análises de alveografia para o caractere força do glúten, e o número de queda apresentam diferença significativa entre si, houve aumento na FTSB, em relação à farinografia o TQ e o VV apresentam valores menores em comparação com a FTST.

Nas condições que foram realizadas este trabalho, para as características que não apresentaram resultados favoráveis com a aplicação dos nutrientes, as indústrias que visam agregar valor aos produtos na obtenção de maiores lucros a biofortificação no trigo de semolina com S e N não é interessante, baseado nas fontes da presente pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Approved Methods of Analysis (AACC) International., 11th Ed. Saint Paul, MN, U. S. A. **Method** 54-60.01. Rheological behavior of flour by farinograph: constant flour weight procedure. Approved Jan 6, 2011.

Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (ABIMAP). **Estatística**. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/estatistica-geral.php>>. Acesso 10 dez. 2018.

Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO). **Trigo**, 2016. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/farinha-de-trigo.php>>. Acesso em: 23 out. 2016.

Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO). **Economia**: Europa deve aumentar produção de trigo até 2030. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/noticias-detalle.php?c=NTQ2>>. Acesso em: 2 de abr. 2018.

Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO). **Economia**: Conab aumenta produção de trigo do Brasil em 9,2%, 2018. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/noticias-detalle.php?c=NTY4>>. Acesso em: 2 de abr. 2018.

Associação Brasileira da Indústria do Trigo ABITRIGO. **Trigo**, 2018. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/conhecimento-farinha-trigo.php>>. Acesso em: 30 out. 2018.

AGRICHEM DO BRASIL. **Amostras de trigo**. 2017.

ALMEIDA, D. **Rendimento de grãos e qualidade tecnológica de cultivares de trigo em resposta à adubação nitrogenada tardia**. Tese apresentada à Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para obtenção do título de Doutor em Fitotecnia. Porto Alegre- RS, 2016.

ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 17<sup>th</sup>ed. Gaitheersburg, 2000. V. 1, 1094p.

BONA, F. D. Manejo nutricional da cultura do trigo. **International plant nutrition institute. Informações Agronomicas**, n. 154, jul. 2016.

BORRILL, P. et al. Biofortification of wheat grain with iron and zinc: integrating novel genomic resources and knowledge from model crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. February, p. 1–9, 2014.

BOSCHINI, A. P. M. **Produtividade e qualidade de grãos de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água no Distrito Federal**. 2010.

BOUIS, H. E. et al. Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 32, n. 1 SUPPL., p. 31–40, 2011.

BRANDÃO, S. S.; LIRA, H. DE L. **Tecnologia de panificação e confeitaria**. 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução- **RDC nº 14**, de 21 de fevereiro de 2000. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia ou Macarrão. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0014\\_21\\_02\\_2000.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0014_21_02_2000.html)>. Acesso em: 11 mar. 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada **RDC nº 263**, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. Brasília, 2005. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC\\_263\\_2005.pdf/d6f557da-7c1a-4bc1-bb84-fddf9cb846c3](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_263_2005.pdf/d6f557da-7c1a-4bc1-bb84-fddf9cb846c3)>. Acesso em: 11 mar. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 38**, de 30 de novembro de 2010. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=358389789>>. Acesso: 15 dez. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28** Projeções de longo prazo, Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Brasília, 2012.

BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**. V.2. 4 ed. São Paulo, 2006.

BYERS, M.; FRANKLIN, J.; SMITH, S. J. The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain. *Aspects of Applied Biology, Cereal Quality*, v. 15, p. 337-344, 1987.

CAETANO, M. **Triticultura**: Importação de trigo deve crescer 11% na safra 17/18. *Diário, Comércio, Indústria & Serviços*. Setembro. 2017. Disponível em: <<https://www.dci.com.br/agronegocios/importac-o-de-trigo-deve-crescer-11-na-safra-17-18-1.510945>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

CAMPANOLLI, D. M. F. **Influencia da Fertilização com Nitrogênio sobre as Proteínas do Glúten e a Qualidade Tecnológica das Farinhas de Dois Cultivares de Trigo**. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos. Campinas, 1992.

CARVALHO, J. L. V. de; NUTTI, M. R. **BIOFORTIFICAÇÃO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS PARA NUTRIÇÃO HUMANA**. Embrapa Agroindústria de Alimentos-Resumo em anais de congresso (ALICE), 2013. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 64., 2012, São Luís. Ciência, cultura e saberes tradicionais para enfrentar a pobreza. São Luís: SBPC: UFMA, 2012.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. Trigo/CEPEA: Importação diminui, elevando liquidez e valor do trigo no BR. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/trigo-cepea-importacao-diminui-elevando-liquidez-e-valor-do-trigo-no-br.aspx>>. Acesso em: 2 de abr. 2018.

CHOPIN, S. A. **Fabricante**. França. 1993.

CNA. **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil**. Demanda mundial por trigo é sinal para o Brasil. Disponível em: < <http://www.cnabrazil.org.br/noticias/demanda-mundial-por-trigo-e-sinal-para-o-brasil>>. Acesso em: 2 de abr. 2018.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **4º Levantamento de Safras**. Brasília, 2017.

COSTA, M. DAS G. DA et al. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220–225, 2008.

DIETARY REFERENCE INTAKES-DRI. p. 1357, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-TRIGO. **Descrição dos métodos usados para avaliar a qualidade de trigo**. Passo Fundo, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **HarvestPlus LAC-Coordenação das atividades do Programa de Biofortificação Harvestplus na América Latina e Caribe**. Acesso em: 8 de Nov. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/207968/harvestplus-lac---coordenacao-das-atividades-do-programa-de-biofortificacao-harvestplus-na-america-latina-e-caribe>>.

FANO, A. **Fontes de enxofre e manejo de nitrogênio na produtividade e qualidade industrial de trigo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

FARONI, L. R. D. et al. **Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 354–357, 2002.

FAQUIN, V. **Solos e Meio Ambiente Nutrição Mineral de Plantas**. Universidade Federal de Lavras-UFLA, v. III, n. FAEPE, p. 186, 2005.

FENNEMA, O. R. et al. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre, ed.4. 900, p. 2010.

FERREIRA, D. F. **Programa de análise estatística e planejamento de experimentos**. Versão 5.6. Lavras- MG, 2006.

FERRER, E. G. et al. **Structural changes in gluten protein structure after assition of emulsifier**. A Raman spectroscopy study. 278-281. 2011.

GERMANI, R. **Trigo e farinha de trigo**. Rio de Janeiro: CTAA- EMBRAPA, 109, p. 2003.

GEO. Banco de Dados Mundial. **Trigo**. 2014. Disponível em: <<https://geobancodedados.wordpress.com/2014/05/18/trigo/>>. Acesso em: 18 de Jan.

GIANIBELLI, M. C. et al. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 6, p. 635–646, 2001.

GRANOTEC DO BRASIL. **Controle de qualidade de trigo e derivados, tratamentos e tipificação de farinhas**. São Paulo: Granotec, 2000. 97 p.

GUARIENTI, E. M. et al. Qualidade de trigo: aspectos tecnológicos e sanitários. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, n. 274, p. 72-82, maio/jun. 2013.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. Embrapa-Trigo. Passo Fundo-RS. 2 ed. 1996.

GUTKOSKI, L. C. et al. **Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo**. v. 28, n. 4, p. 888–894, 2008.

GUTKOSKI, L. C.; FILHO, O. R.; TROMBETTA, C. **Correlação entre o teor de proteínas em grãos de trigo e a qualidade industrial das farinhas**. v. 20. p. 29–40, 2002.

HARVESTPLUS. **Our Mission**. Acesso em: 8 de Nov. 2018. Disponível em:<<https://www.harvestplus.org/about/our-mission>>.

IGC. **Instituto de Geociência**. Disponível em: <<http://www.atriemg.com.br/noticia-3.html>>. Acesso em: 2 de jan. 2018.

INOCENCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e Biofortificação Agronômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. p. 89, 2014. Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

JARVAN, M. et al. **The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat**. *Agronomy Research*, p. 459-469, 2008.

KENT, N. L. **Technology of cereals**: an introduction for students of food science and agriculture. 3 ed. Oxford: Pergamon Press. p. 221. 1983.

KANSAS STATE UNIVERSITY. Department of Grain Science and Industry Shellenberg Hall Manhattan, Kansas. Jul., 1974.

LARA, T. S.; COM, B. A.; LARA, T. S. **Biofortificação agronômica com selênio e alterações metabólicas em trigo**. 2016.

LEHNINGER, D. N; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 5 ed. Editora: Artmed, Porto Alegre. 2011.

LIMA, D. M. et al. **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO**. 4. ed. Revisada e ampliada. Campinas, 2011.

MADEIRA, R. A. V. **Caracterização tecnológica de linhagens de trigo desenvolvidas para o cerrado mineiro**. p. 111, 2014. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais**. *International plant nutrition institute*. Informações agronômicas n. 121, mar., 2008.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para produção de trigo**. Londrina- PR, 1993.

MANDARINO, J. M. G. **Componentes do trigo**: características físico-químicas, funcionais e tecnológicas. Londrina- PR, 1994.

MARTINEZ, R. A. S. **Biofortificação agrônômica da soja com selênio**. p. 113, 2013.

MEGDA, M. M. et al. **Em relação às fontes e épocas de aplicação sob**. p. 1055–1060, 2009.

MINOLTA. Chroma meter CR-400/410: instruction manual. Osaka: Konica Minolta, 2007. 156 p.

MITTELMANN, A. et al. Herança de caracteres do trigo relacionados à qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 975–983, 2000.

MONTENEGRO, F. M; ORMENESE, R. DE. C S. C. Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Avaliação da Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo**. Campinas, 2005.

MONTENEGRO, F. M. **Alveógrafo**. Cereal Chocotec - Instituto de Tecnologia de Alimentos ITAL. 2007.

MORAES, M. F. **Biofortificação** – alternativa à segurança nutricional. p. 9-15, 2012.

NITZKE, J. A; THYS, R. C. S. **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo**. Rio Grande do Sul, 2011.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. p. 195, 2013.

OSBORNE, D. R. **Analisis de los nutrientes de los alimentos**. Editorial Acribia, p. 256. 1985.

PADOVANI, R. M. et al. **Dietary reference intakes: application of tables in nutritional studies**. Revista de Nutrição, Campinas, 19 (6): 741-760, Nov/dez, 2006.

PASCOALINO, J. A. L. **Estratégias de adubação com zinco para biofortificação agrônômica do trigo**. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PASCOALINO, J. A. L. et al. **Integração da biofortificação genética e agrônômica de culturas com selênio**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, n.2, p. 33-35, 2016.

PEREIRA, J. **Tecnologia e qualidade de cereais: arroz, trigo, milho e aveia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 133p.

PERTEN. **The Only Approved Falling Number Instruments**. n. 56, 2015. 3-4p.

PERTEN INSTRUMENTS. **O método Falling Number**. 2018. Disponível em: <<https://www.perten.com/Products/Falling-Number/The-Falling-Number-Method/>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

PIRES, J. L. F. et al. **Trigo no sistema de produção: Aplicação tardia de nitrogênio em trigo**. Embrapa- Trigo. 2015. 32p.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnologia de la panificacion**. Editora Acribia, 502 p 1991.

RIBEIRO, A. da. C. **Estudo estrutural da gliadina**. Dissertação apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para obtenção do título de Mestre em Ciências dos Materiais.

RIOS, A. de S. et al. **Deficiências nutricionais e a biofortificação de alimentos**. 2011.

RIOS, A. de S. et al. Biofortificação: culturas enriquecidas com micronutrientes pelo melhoramento genético. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 713–718, 2009.

RODRIGUES, R. **Biofortificação**. p. 46, jul, 2016.

SANGOI, L. et al. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1564–1570, 2007.

SANTOS, L. S. **Perfil Protéico e Qualidade de Panificação em Linhagens de Trigo Desenvolvidas para a Região do Cerrado Brasileiro**. p. 237, 2008.

SILVA, A. C. C; FROTA, K. DE. M. G; ARÊAS, J. A. G. **Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: Proteína**. International Life Sciences Institute do Brasil. São Paulo, 2012.

SILVA, S. A.; CRUZ, P. J.; SIMIONI, D. **Composição de subunidades de gluteninas de alto peso molecular ( HMW ) em trigos portadores do caráter “ stay-green ”**. p. 679–683, 2004.

SHEWRY, P.R. Cereal seed storage protein. In: KIGEL, J.; GALILI, G. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, p.45-72, 1995.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. A biofortificação em debate. **Boletim informativo**, v. 42, n. 2, maio/agosto, 2016.

SOUZA, G. A. D. E. **Biofortificação da Cultura do Trigo com Zinco, Selênio e Ferro : Explorando o Germoplasma Brasileiro**. 2013.

TEDRUS, G. DE A. S. et al. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 20–25, 2001.

TIPPLES, K. H; PRESTON, K. R; KILBORN, R. H. **Implications of the term “strength” as related to wheat and flour, quality**. Bakers Digest. p. 16-20. 1982.

TONON, V. D. **Herança Genética e Estabilidade de Características Relacionadas À Qualidade dos Grãos e da Farinha de Trigo**. 2010.

USDA. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. **Trigo**: Fundo. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/topics/crops/wheat/background/>>. Acesso em: 5 de mar. 2018.

VIEIRA, C. R. **Proteína Estruturadora de Gelo em Cultivares Brasileiras de Trigo e Centeio** : Ocorrência , Caracterização e Aplicação Em Massas. 2011.

VIEIRA, R. D. et al. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na produção e na qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Científica**, v. 23, n. 2, 1995. p. 257-264.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer,p. 287-309, 2008.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, London, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007.

ZILIC, S; BARAC, M; PESIC, M; DODIG, D. Ignjatovic-MICIC, D. *Int. J. Mol. Sci*, 12, 5878. 2011.